



REGIONE
PIEMONTE
Associazione
Gruppi
Speleologici
Piemontesi

Società Speleologica Italiana

QUADERNI DIDATTICI

CLUB ALPINO ITALIANO



Con il patrocinio della
Commissione Centrale per la Speleologia

Erga edizioni

9



GIAN DOMENICO CELLA FABIO SICCARDI ALBERTO VERRINI

L'UTILIZZO DEL GPS IN SPELEOLOGIA

QUADERNI DIDATTICI della
Società Speleologica Italiana

Coordinamento editoriale:

Giovanni Badino, Carlo Balbiano, Natalino Russo

Per entrare in contatto con gli Autori rivolgersi
alla Società Speleologica Italiana

© Società Speleologica Italiana
Via A. Zamboni, 67 - 40127 Bologna
www.ssi.speleo.it

Si fa espresso divieto di riprodurre in qualsiasi
maniera, anche parzialmente,
il contenuto dei Quaderni.

Edizione riservata
realizzata nel mese di ottobre 2001 da
ERGA EDIZIONI
Via Biga 52 r. - 16144 Genova
Tel. 010.8328441 - Fax 010.8328799
www.erga.it

*Quaderni didattici della
Società Speleologica Italiana*

- 1 Geomorfologia e speleogenesi carsica**
Leonardo Piccini
- 2 Tecnica speleologica**
Angelo De Marzo, Giuseppe Savino
- 3 Il rilievo delle grotte**
Chiara Silvestro
- 4 Speleologia in cavità artificiali**
Giulio Cappa
- 5 L'impatto dell'uomo sull'ambiente di grotta**
*Mauro Chiesi, Gianluca Ferrini,
Giovanni Badino*
- 6 Geologia per speleologi**
Valentina Malcapì, Leonardo Piccini
- 7 I depositi chimici delle grotte**
Paolo Forti
- 8 Meteorologia ipogea**
Carlo Balbiano
- 9 L'utilizzo del GPS in speleologia**
*Gian Domenico Cella, Fabio Siccardi,
Alberto Verrini*
- 10 La vita nelle grotte**
Marco Bani
- 11 Storia della Speleologia**
Lamberto Laureti
- 12 Gli acquiferi carsici**
*Bartolomeo Vigna,
con un contributo di Gilberto Calandri*

QUADERNI DIDATTICI
DELLA
SOCIETÀ SPELEOLOGICA ITALIANA

9

Gian Domenico Cella, Fabio Siccardi, Alberto Verrini
L'UTILIZZO DEL GPS IN SPELEOLOGIA

REGIONE PIEMONTE

ASSOCIAZIONE GRUPPI SPELEOLOGICI PIEMONTESI

Erga  *edizioni*

INTRODUZIONE

Ancora un contributo scientifico e letterario va ad arricchire la preziosa e prolifica collaborazione che lega la speleologia piemontese con l'Amministrazione Regionale.

L'Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi e la Regione Piemonte, nel quadro di una fattiva intesa che dura ormai da due decenni sullo sviluppo delle conoscenze e la gestione del fenomeno carsico, hanno contribuito ad una pubblicazione che esce dalle logiche locali e permette di approfondire aspetti che fino a pochi anni fa ci sembrano inavvicinabili.

La Regione Piemonte ha visto e vede ora più che mai, con estremo piacere, lo svilupparsi e la crescita di una cultura speleologica che vive e si sviluppa con una particolare attenzione all'ambiente carsico e soprattutto alla sua interdipendenza con le comunità che vivono sul territorio. Con vivo piacere ci congratuliamo con gli autori, che in modo rigoroso e scientifico, ci permettono di aggiungere un altro tassello al fantastico mosaico della speleologia.

Assessore all'Ambiente ed ai Parchi
Ugo CAVALLERA

Assessore alla Cultura ed ai Parchi
Giampiero LEO

Il volumetto che avete tra le mani nasce nel quadro della collaborazione più che decennale che la speleologia piemontese, raccolta nella Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi, ha creato e rafforzato con la Regione Piemonte. Anche in questo caso, come per il volumetto su "Il rilievo delle grotte" l'amministrazione regionale ha contribuito alla realizzazione di un quaderno didattico dal respiro profondo, che ci permette di avere una visione diversa, di guardare un po' più lontano nel difficile mondo della speleologia.

Innanzitutto vanno fatti i complimenti agli autori che, come sempre, precisi ed attenti, hanno provato e sperimentato quello che ci raccontano per un lungo periodo dando una credibilità molto elevata al loro lavoro scientifico. Inoltre lo sviluppo, per così dire, di nuove tecnologie ci permette anche di affrontare in modo diverso lo sviluppo delle conoscenze sul fenomeno carsico: mi riferisco in particolare al sistematico posizionamento di precisione delle cavità che stiamo organizzando sul territorio regionale ed in particolare sul massiccio del Marguareis. Questa operazione conduce a risultati stupefacenti: prima di tutto a correggere noi stessi ed i posizionamenti, sempre difficili, realizzati nei decenni precedenti, ma soprattutto ad aiutarci a vedere in tre dimensioni, con lo studio delle correnti d'aria delle cavità e buchi soffiati, l'andamento dei sistemi carsici.

Un nuovo modo di vedere sembra dunque possibile. Speriamo che questa esperienza possa contribuire, anche in altre realtà, a sviluppare nuovi modi di studiare il fenomeno carsico e credo che i Quaderni Didattici della Società Speleologica Italiana sia il luogo giusto dove comunicare queste riflessioni ed esperienze.

Attilio EUSEBIO
Presidente AGSP

Ringraziamenti

Fra tutti quelli che hanno dato una mano alla realizzazione di questa dispensa, vogliamo ringraziare innanzi tutto il Gruppo Grotte CAI Novara per il supporto fornito.

Poi un particolare grazie va a Chiara Silvestro, per averci permesso di estrarre e rielaborare alcuni brani della sua dispensa sul "Rilievo delle grotte".

Un doveroso ringraziamento va anche al Comandante Borsa e alla Direzione dell'Istituto Idrografico della Marina di Genova, che con infinita pazienza ci hanno ospitato, consentendoci di visitare il loro fornitissimo museo di strumentazione per la navigazione marina.

Non vogliamo neppure dimenticare gli amici Giovanni Badino, Roberto Maugeri e Giulio Cappa, che hanno speso un po' del loro tempo per fornirci suggerimenti e correzioni.

Infine un saluto affettuoso a Maria, Tatiana e Vittoria per l'aiuto, la disponibilità e la pazienza dimostrate durante la sua stesura.

1. SCOPO DELLA DISPENSA	pag. 7
2. GENERALITÀ SUL SISTEMA	7
2.1 Cos'è il GPS	7
2.2 Breve storia del GPS	7
2.3 Vari utilizzi del sistema di GPS	7
2.4 Come funziona il GPS	9
2.4.1 Principi per la determinazione di un punto nello spazio	9
2.4.2 Fonti di errore nel sistema	11
3. GENERALITÀ SUI RICEVITORI	14
3.1 Tipi di ricevitori GPS: singoli e differenziali, nuove prospettive	14
3.2 Principali funzioni disponibili sui ricevitori	17
4. PREPARAZIONE DEL PALMARE E LIMITAZIONI DI UTILIZZO	17
4.1 Indici di precisione "importanti"	17
4.2 Utilizzo di filtri statici (filtri di media)	18
4.3 Il decalogo del buonsenso	19
5. I RICEVITORI E LA CARTOGRAFIA	22
5.1 I ricevitori GPS e la cartografia terrestre	22
5.1.1 La cartografia in uso in Italia	23
5.1.2 Le coordinate in uso in Italia	25
6. APPLICAZIONI IN CAMPO SPELEOLOGICO	27
6.1 Errori del metodo	27
6.1.1 Errori dell'operatore in fase di acquisizione dei dati	28
6.1.2 Errori di sistema	29
6.2 Utilizzo dei dati in campo speleologico	29
7. ESERCIZI	
7.1 Setup del ricevitore GPS	31
7.2 Posizionare e memorizzare un punto	32
7.2.1 Riportare su una cartografia IGM e CTR le coordinate memorizzate nel corso di una uscita	33
7.2.2 Ricercare l'ingresso di una grotta conoscendone le coordinate	36
APPENDICE A: determinazione sulla carta delle coordinate di un punto	37
APPENDICE B: GALILEO	40
GLOSSARIO DEI TERMINI TECNICI	43
BIBLIOGRAFIA E LINKS UTILI	46

1. SCOPO DELLA DISPENSA

Molti speleologi da anni seguono con interesse i continui progressi nel campo delle tecniche di posizionamento satellitare.

I tempi sono maturati, ed ora sono disponibili strumenti palmari, del peso di pochi grammi, di costo limitato e quindi accessibili a ogni speleologo, in grado di effettuare in pochi minuti posizionamenti con un errore inferiore alla decina di metri. Questo grado di precisione era impensabile per questo tipo di strumenti fino a qualche anno fa.

Questo significa che, nel corso di una escursione, oggi è possibile localizzare e trasmettere anche ad altri, senza neppure disporre della carta topografica, le coordinate di un punto che ci interessa. E di ritrovarlo, o di farlo ritrovare, a distanza di anni.

Forse potremo mettere nel dimenticatoio le lunghe battute necessarie per trovare una grotta, o per ritrovare vecchi buchi segnalati nel passato: sempre che il posizionamento ai tempi fosse stato effettuato correttamente! O, più banalmente, in una zona a noi sconosciuta, potremo sempre ritrovare il campo o l'auto, di giorno, di notte o nella nebbia, senza vagare per monti e valli per ore.

Ma per effettuare una buona lettura e trasferire i dati sulla cartografia di dettaglio, conservandone la precisione, è necessario seguire alcune direttive, che, per quanto semplici, ahimè non sempre sono facilmente rintracciabili dal comune speleo nella copiosissima letteratura sull'argomento.

In questa ottica, l'Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi ha deciso di raccogliere, ordinare ed arricchire le dispense utilizzate nei suoi stage regionali. Il risultato l'avete di fronte: vi siamo fin d'ora grati per le correzioni e i suggerimenti che vorrete farci pervenire.

Un'ultima osservazione: il testo è stato concepito in modo da essere consultato per i soli capitoli di interesse del lettore. Ove necessario, abbiamo pertanto preferito riprendere e sintetizzare concetti già presentati in altri capitoli, a tutto beneficio della comprensione e della facilità di lettura.

2. GENERALITÀ SUL SISTEMA

2.1. Cos'è il GPS

NAVSTAR Global Positioning System, o più semplicemente GPS, è un sistema formato da una costellazione di satelliti ed alcune basi a terra, che permette, attraverso l'invio di un flusso continuo di informazioni ad un utente dotato di un adeguato ricevitore, di calcolare le proprie coordinate in un qualsiasi punto della Terra.

2.2. Breve storia del GPS

I principi tecnici su cui si basa il GPS vennero ideati dagli scienziati della NASA, l'ente spaziale degli Stati Uniti d'America, negli anni '60 per risolvere alcuni problemi legati alle esplorazioni dello spazio. Solo nei primi anni '70 il Governo americano commissionò uno studio di fattibilità per un sistema di posizionamento globale, denominato in seguito NAVSTAR / GPS e destinato all'utilizzo militare terrestre, che superasse i limiti dei sistemi usati fino a quel momento (LORAN e OMEGA), basati sulla ricezione di onde radio emesse da stazioni fisse.

Il sistema prese effettivamente il via nel 1978, con il lancio del primo gruppo di satelliti per il GPS, in cui è stato confermato il corretto funzionamento dell'idea.

In seguito sono state organizzate altre fasi di lancio di "blocchi" di satelliti, destinati al completamento della costellazione ottimale e al miglioramento delle prestazioni del sistema.

Prendendo consapevolezza delle possibili applicazioni civili del GPS, il Governo degli Stati Uniti decise agli inizi degli anni '80 di consentire la produzione e l'utilizzo di apparati civili di ricezione, limitati però nelle loro prestazioni dall'introduzione di un errore artificiale. Così facendo si è dato il via all'apertura di un mercato economico enorme, lasciando inalterate le prestazioni strategiche dell'apparato militare americano.

All'inizio di questo millennio, visto il rapido evolversi delle tecnologie e il grande successo economico dei ricevitori a basso costo, è stato definitivamente eliminato l'errore artificiale anche per l'uso civile, lasciando inalterata la possibilità agli USA di sospendere il servizio per ragioni tattiche.

2.3. Vari utilizzi del sistema di GPS

Le applicazioni del GPS sono allo stato attuale innumerevoli, da quelle militari per cui originariamente era nato, a quelle professionali, scientifiche e ricreative. Il GPS, grazie ai bassi costi dei ricevitori ed alle ottime prestazioni, fornisce un supporto di lavoro o di svago fondamentale praticamente in tutte quelle attività nelle quali occorra determinare una posizione sulla superficie terrestre.

Molte delle applicazioni in cui ora il GPS è parte fondamentale, non erano neppure state immaginate.

Nella navigazione marittima è uno strumento importante, di cui si può dotare, oltre alla costosissima petroliera, anche una piccola imbarcazione da diporto. Il GPS interfacciato poi con altri strumenti di bordo può dialogare con il pilota automatico e permettere la visualizzazione della propria posizione su di una mappa precedentemente digitalizzata.

Quest'ultima applicazione, unitamente a informazioni provenienti da sensori posti sull'automobile, può fornire anche complessi percorsi automobilistici in grandi città.

Sempre in automobile un GPS, tramite cellulare, può comunicare ad una centrale le coordinate utili in caso di furto, grave incidente o di emergenza medica a bordo (vedi Figura 2.1).

Sofisticati modelli di GPS che usano tecniche di posizionamento ancora più precise controllano in maniera millimetrica il movimento della superficie di vulcani, di vaste aree sismiche e addirittura di movimenti relativi a lembi di faglie attive.

Inoltre in campo scientifico il GPS viene usato come riferimento di tempo estremamente preciso. Per esem-

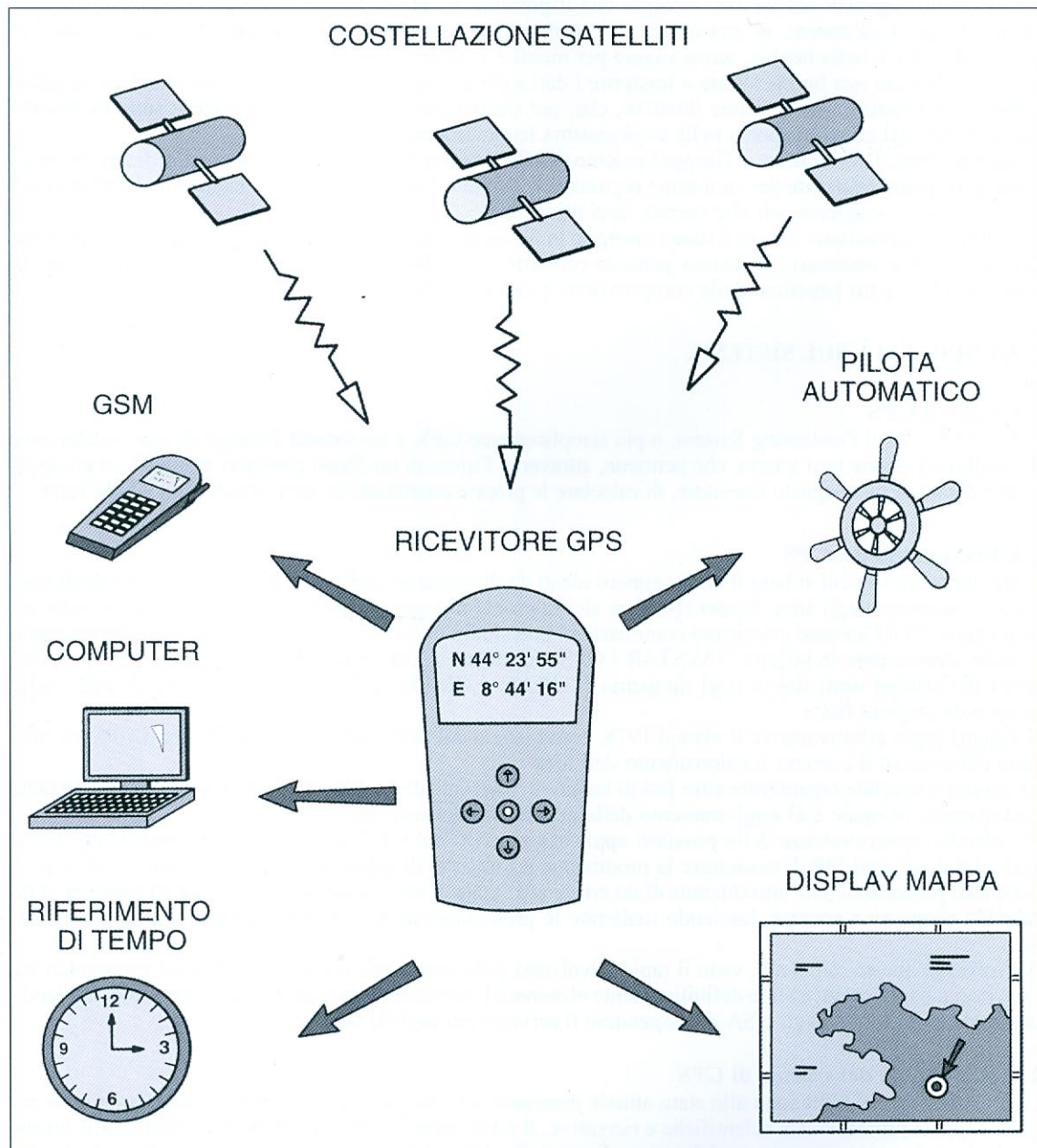


Fig. 2.1: le infinite applicazioni del GPS ai giorni nostri

pio il GPS fornisce ad una rete di computer collegata ad Internet il riferimento di tempo necessario alla sincronizzazione per l'interscambio di dati. Oppure ancora recenti esperimenti in laboratori scientifici sparsi su tutta la superficie terrestre utilizzano il segnale di tempo GPS come riferimento per sincronizzare alcuni eventi rilevati.

In conclusione possiamo dire che le applicazioni sono innumerevoli e i futuri miglioramenti del sistema GPS, in aggiunta di altri sistemi come il GLONASS, non faranno altro che incrementare le possibilità e le occasioni di utilizzo.

2.4. Come funziona il GPS

Alla base delle macchine più complesse esiste sempre una teoria semplice ed essenziale.

Così anche nel caso del sistema di posizionamento satellitare realizzato dal Dipartimento della Difesa (DoD) degli U.S.A. negli anni '70, si può tentare di capire il funzionamento generale di un apparato elettronico estremamente complesso ed evoluto utilizzando solo due semplici regole, una geometrica e una fisica.

2.4.1. Principi per la determinazione di un punto nello spazio

La prima di queste regole dice che determinare in modo preciso la propria distanza da quattro punti noti nello spazio equivale a conoscere la propria posizione assoluta.

La seconda è una formula della fisica classica che tutti conosciamo:

$$V=S/T$$

Facciamo mente locale per vedere perché ci interessano queste due regole, tenendo conto che il nostro scopo naturalmente è quello di capire dove ci troviamo utilizzando i sistemi di rappresentazione classici della geodesia, ovvero di conoscere le nostre coordinate rispetto ad alcuni particolari punti di riferimento.

In breve l'idea è questa: se conosciamo la nostra distanza da un solo punto noto dello spazio allora è come se ci trovassimo in un qualsiasi punto della superficie della sfera ideale che ha come raggio questa distanza e come centro il punto noto.

In pratica è come se riuscissimo a sapere in qualche modo che ci troviamo a 20.000 chilometri da un satellite che sta passando sopra di noi; siamo esattamente nella situazione indicata a sinistra nella Figura 2.2.

A questo punto è facile intuire che conoscendo pure la distanza da un secondo satellite, è come se ci trovassimo in un punto imprecisato del perimetro di un cerchio, dato dall'intersezione di due sfere (vedi parte centrale della Figura 2.2).

Complichiamo ancora la situazione aggiungendo una terza sfera (cioè la distanza da un terzo satellite): ecco che ci troviamo per forza in uno dei due punti, A oppure B, a destra in Figura 2.2.

Per ora lasciamo in sospeso quale dei due punti sia realmente quello in cui ci troviamo, tenendo conto che nel nostro caso basterebbe conoscere una quarta distanza, come preannunciato, per risolvere definitivamente il problema. Come vedremo più avanti invece, uno dei due punti sarà escludibile in modo automatico perché irrealistico, e la quarta distanza servirà ad altro scopo.

Ricapitolando, con semplici congetture geometriche possiamo risolvere il problema di individuare univocamente la nostra posizione rispetto a tre satelliti, semplicemente conoscendo la nostra distanza da loro.

Servono solo le distanze e niente altro... ma come conoscerle?

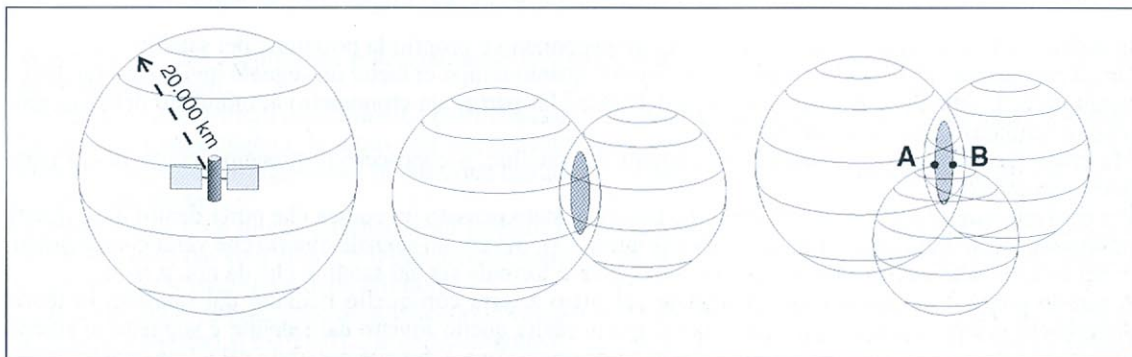


Fig. 2.2: la distanza da 3 punti noti individua una coppia di punti nello spazio

È qui che entra in gioco la regola fisica accennata prima, riformulata nel seguente modo: se siamo in grado di sapere quanto tempo ci mette a raggiungerci un segnale inviato dal satellite e la velocità con cui viaggia (un'onda elettromagnetica, per esempio, viaggia nel vuoto alla velocità della luce) possiamo risolvere l'equazione ottenendo come risultato esattamente la nostra distanza dal satellite.

In formula: $d = t \cdot v$
d = distanza incognita dal satellite
t = tempo di percorrenza del segnale
v = velocità con cui viaggia il segnale

Semberebbe forse già questa una soluzione, ma in realtà proprio ora si presentano tre problemi non da poco.

Il primo è questo: abbiamo detto che è necessario conoscere le distanze da tre punti noti per considerare risolto il problema, ma come si può fare nella realtà a calcolare esattamente la posizione dei satelliti, oggetti che si muovono continuamente rispetto al pianeta? Con una banca dati chiamata Almanacco, contenente le traiettorie (anche dette Effemeridi) estremamente precise e dettagliate di tutti i satelliti e memorizzata nel nostro ricevitore portatile.

I satelliti pur seguendo traiettorie prestabilite, subiscono comunque delle piccole perturbazioni nella loro orbita. Le stazioni di monitoraggio del sistema a terra rilevano costantemente le loro orbite ed aggiornano di conseguenza l'Almanacco; talvolta correggono direttamente le traiettorie, rimettendo i satelliti sulla giusta orbita.

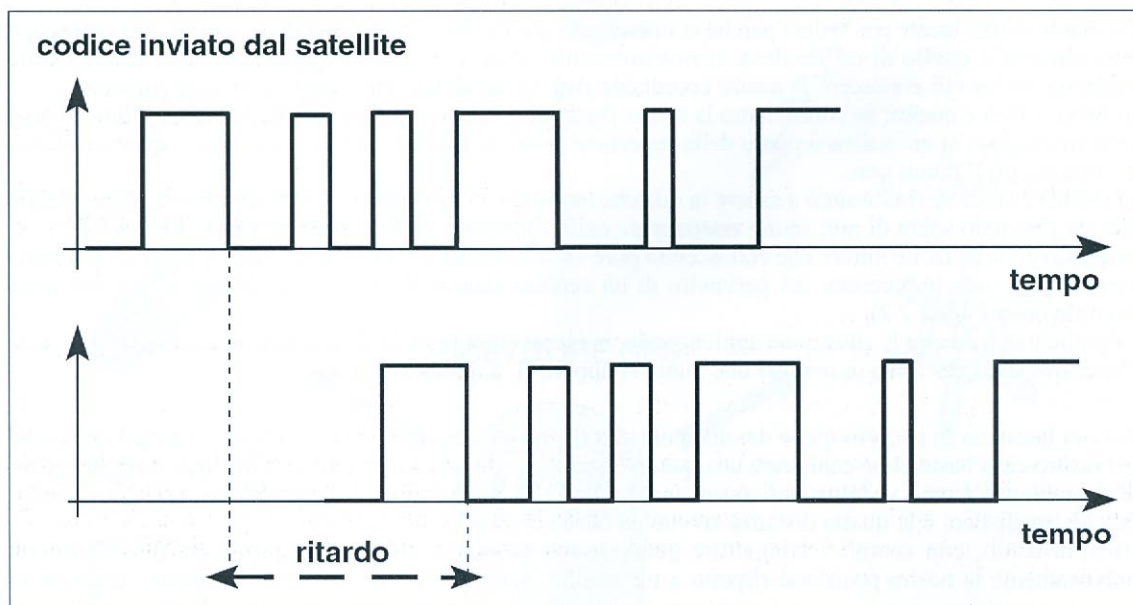


Fig. 2.3: esempio di pseudo-codice e di calcolo del ritardo del segnale

In definitiva l'unica cosa veramente certa di cui disponiamo è proprio la posizione dei satelliti.

Ora si può passare al secondo problema: per sapere quanto tempo ci mette un segnale inviato dal satellite a raggiungere la superficie del nostro pianeta dobbiamo far partire un cronometro al momento della sua partenza e fermarlo al momento del suo arrivo.

Ma come facciamo noi, che siamo così distanti dal satellite, a conoscere il momento esatto in cui parte questo segnale?

Per risolvere questo problema, tutt'altro che banale, è stato pensato un codice che porta dentro di sé questa informazione: si tratta di un pseudo-codice (Figura 2.3), ovvero un segnale binario che varia continuamente nel tempo e che viene calcolato in base a complesse formule sia dal satellite che da noi, a terra.

A questo punto basta confrontare il segnale calcolato a terra con quello ricevuto dal satellite: in teoria dovrebbero essere identici istante per istante, ma in realtà quello inviato dal satellite è soggetto al ritardo accumulato durante il viaggio. Con una semplice comparazione è dunque possibile calcolare quanto tempo prima è partito quest'ultimo.

Rimane l'ultimo problema che è anche il più complesso: bastano piccolissime differenze di sincronizzazione (dell'ordine di microsecondi) tra l'orologio del ricevitore a terra e quello del satellite per provocare errori enormi (dell'ordine di chilometri) nella risoluzione delle equazioni viste. E purtroppo questi problemi di sincronismo esistono e vanno corretti.

L'unica soluzione è quella di valutare una nuova distanza da un quarto satellite e di effettuare, in base a questa, alcune correzioni dei dati in nostro possesso. Si complicano leggermente i calcoli, ma si rendono sufficientemente affidabili le soluzioni.

Per chi ne volesse sapere di più, in effetti si correggono i dati di distanza ottenuti impostando le quattro equazioni per mezzo di un vero e proprio procedimento per tentativi: si aggiungono e sottraggono alcune quantità casuali alle equazioni del sistema, ottenendo valori di correzione "tendenti" a rendere il sistema risolvibile analiticamente (e quindi tale che esista un'unica soluzione).

Concludendo, abbiamo a questo punto un sistema che funziona a patto che riceva i segnali di quattro satelliti, avendo a disposizione i tracciati delle loro traiettorie e le formule per il calcolo di un particolare pseudocodice. Rimane solo da capire quale sia il suo grado di affidabilità.

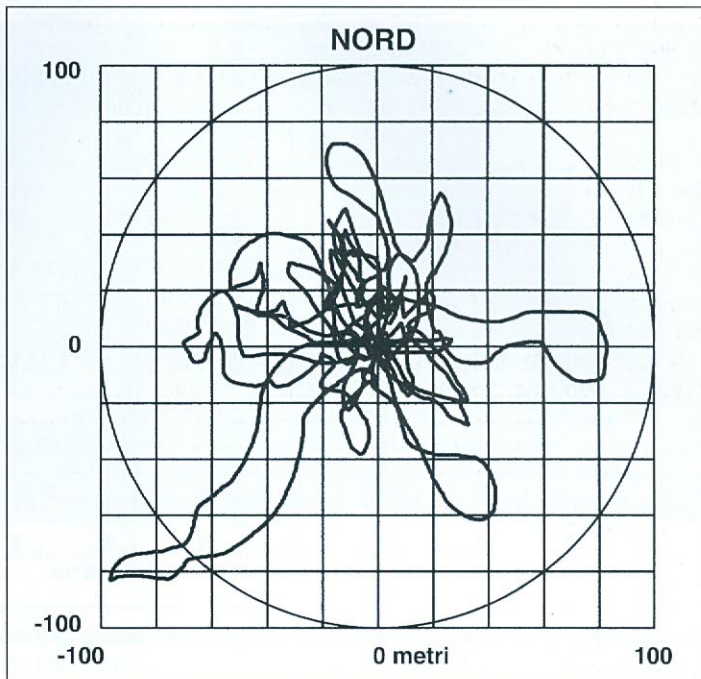


Fig. 2.4: come può variare nel tempo la posizione di un punto fermo, a causa degli errori introdotti dal sistema, con S/A attivata

2.4.2. Fonti di errore nel sistema

Purtroppo, al di là della semplice analisi appena fatta, la realtà delle cose è estremamente complessa e le cause di errori nella valutazione della posizione sono moltissime ed insidiose.

Innanzitutto negli anni '80 questo sistema è stato reso "di pubblico utilizzo" da parte del governo degli Stati Uniti a prezzo di una crittografia del segnale. In parole povere, fino al maggio 2000, l'esercito americano ha riservato solo a se stesso la possibilità di utilizzare il GPS nelle sue piene potenzialità, concedendo al resto del mondo di usufruire solamente di dati distorti da un "errore imposto". Così i satelliti, prima di inviare il segnale, in pratica aggiungevano volutamente un piccolo sbaglio per confondere le idee ai ricevitori. Di conseguenza la posizione calcolata a terra conteneva un errore variabile, che in genere si manteneva in un raggio di 100-150 metri (Figura 2.4).

A partire dal maggio 2000 questa forma di crittografia del segnale è stata abbandonata, con l'opzione di un eventuale riattivazione da parte degli USA, in caso di necessità tattico militare (vedi Figura 2.5).

Oltre a questa, che rappresenta potenzialmente la fonte più grande di errore del GPS, esiste una serie di problemi più piccoli.

Per esempio sono difficili da eliminare i ritardi causati dalla troposfera e dalla ionosfera terrestre sul segnale che, prima di raggiungerci, le attraversa interamente; una quantità di materia rarefatta ma notevole. Essa perturba il segnale, rifrangendolo, in due zone distinte, nella parte più alta (da 100 a 300 km sopra di noi) e in quella più bassa.

La prima è una zona di gas estremamente rarefatti e martellati dalla radiazione solare che li ionizza (cioè strappa elettroni dai suoi atomi, e il gas diventa conduttivo) in un modo molto variabile a seconda dell'ora del giorno, della stagione e della latitudine.

È questo lo strato responsabile della riflessione verso terra delle onde radio: al di sotto di una certa frequenza, in genere intorno ai 5-10 MHz, le onde vengono riflesse in giù come avessero urtato uno strato metallico, si trovano intrappolate fra la ionosfera e la Terra e così si propagano per ogni dove. Per questo motivo sono possibili le trasmissioni radio a lunghissime distanze.

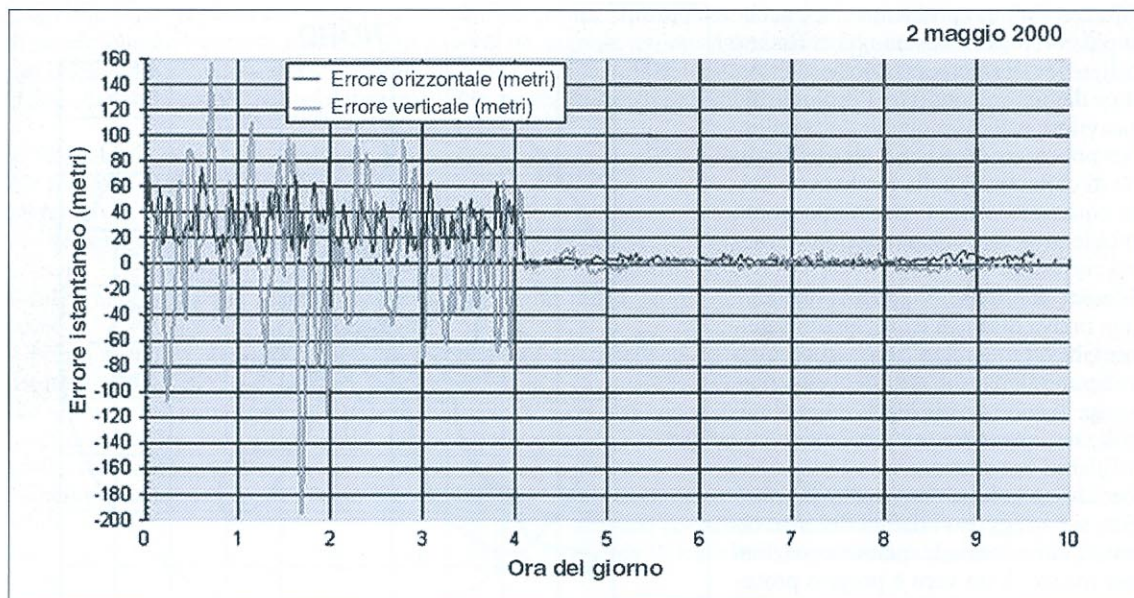


Fig. 2.5: *il magico momento della disattivazione dell'errore imposto, a metà del 2000.*

Al di sopra di quella frequenza (e quella dei GPS è oltre i 1000 MHz) il segnale si propaga ma ad una velocità diversa da quella che ha nel vuoto. Il guaio è che questo ritardo dipende dallo stato della ionosfera, che varia di continuo e questo di per sé introduce un errore sensibile, una parte sostanziale di quello che attualmente si ha con strumenti economici. In realtà si può rimediare: il ritardo è variabile durante il giorno, ma è sempre inversamente proporzionale al quadrato della frequenza dell'onda che lo attraversa e dunque i GPS più raffinati ricevono lo stesso segnale su due frequenze diverse e, dal ritardo relativo fra loro, riescono a ricostruire lo stato della ionosfera in quell'istante e quindi possono determinare il ritardo assoluto e correggerlo.

Più difficile è eliminare il secondo errore, quello introdotto dalle parti basse dell'atmosfera. In queste zone l'aria è un isolante molto buono (un dielettrico) e dunque l'onda che la attraversa ha un comportamento molto diverso che in precedenza, ma viene ritardata in modo simile. Gran parte del ritardo è correggibile, perché si presenta sempre nello stesso modo: il guaio sta nell'ultimissimo tratto della corsa a causa della presenza di vapore d'acqua. Esso è estremamente efficace nel ritardare il segnale, a causa della polarità della molecola dell'acqua, ma la sua quantità nell'aria è spaventosamente variabile: si va dall'aridità dei deserti antartici all'umidità dell'aria amazzonica... Questo errore è praticamente ineliminabile (vedi Figura 2.6).

Sta di fatto che questi due errori sono tanto più grandi quanto maggiore è la quantità d'aria attraversata: è per questo che conviene escludere da misure di precisione i dati di satelliti molto bassi sull'orizzonte ($<15^\circ$) che hanno bucatato centinaia di chilometri di atmosfera.

Per questi stessi motivi, quando si vogliono fare misure precise con una media di misure indipendenti, conviene mediare fra misure distanziate fra loro di almeno alcune ore per acquisire dati relativi a stati differenti della ionosfera e dell'umidità dell'aria.

A questi errori ambientali si aggiunge poi un errore piuttosto insidioso, definito tecnicamente "multipath" (in Figura 2.7). Un'onda elettromagnetica, nel nostro caso ogni singolo segnale emesso dai satelliti, può subire una o più riflessioni sugli oggetti che circondano il ricevitore, prima di raggiungerlo. In questo modo il palmare elabora sia segnali diretti che ritardati (riflessi), compromettendo anche gravemente la correttezza del calcolo della posizione. Abbiamo un esempio di una situazione simile nelle nostre case quando l'immagine televisiva si presenta sdoppiata per effetto della ricezione di un segnale diretto dal ripetitore più uno riflesso da una montagna.

Poi possono esistere piccolissimi errori dell'orologio atomico a bordo del satellite, oppure interferenze elettromagnetiche sul nostro ricevitore.

Tutti questi errori producono comunque, globalmente, variazioni dell'ordine di una decina di metri sulla

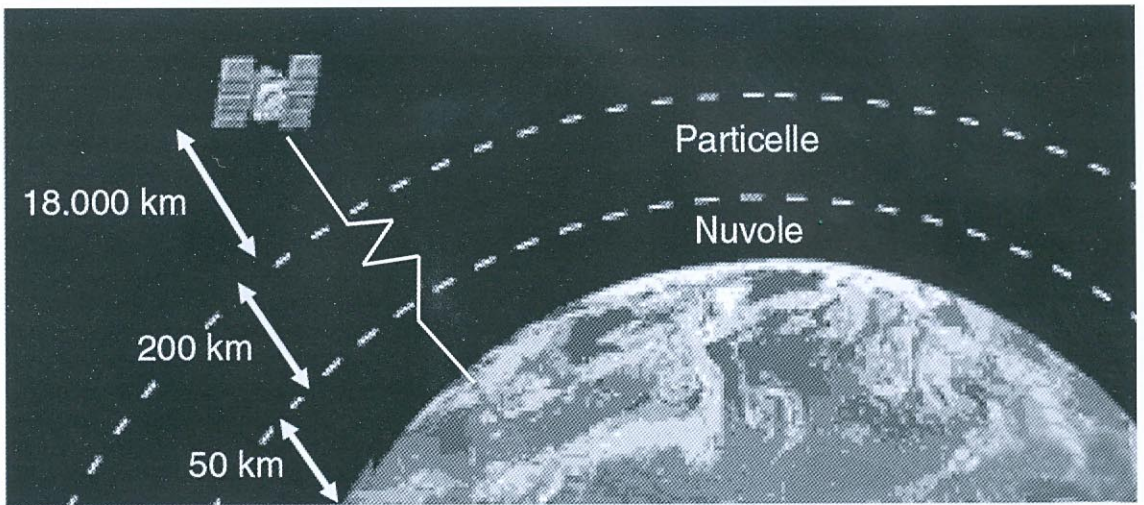


Fig. 2.6: il ritardo della ionosfera e dell'atmosfera su un segnale

posizione reale (vedi la tabella di esempio).

Un errore, che invece ha una certa importanza, ci consente di riprendere il discorso sospeso in precedenza a proposito dell'intersezione delle tre sfere che fornisce due punti di soluzione anziché uno solo come necessario.

Conosciamo infatti la posizione esatta dei satelliti rispetto al centro della terra grazie all'Almanacco, come visto, e la nostra possibile posizione rispetto ai satelliti ridotta a due punti, A e B.

Ma come può sapere il nostro ricevitore in quale dei due punti si trova?

Semplice: al suo interno possiede una mappa terrestre molto approssimata (un modello geodetico o Mapping Datum) che gli consente di sapere, ad esempio, i principali diametri del nostro pianeta, fornendogli un discriminante sufficiente, nella maggioranza dei casi, nella scelta tra A oppure B.

Quando A o B sono equivalenti per il nostro

<i>Errori di clock del satellite</i>	<i>circa 2 metri</i>
<i>Errori delle Effemeridi</i>	<i>circa 2 metri</i>
<i>Errori dovuti alla Troposfera</i>	<i>circa 0,7 metri</i>
<i>Errori dovuti alla Ionosfera</i>	<i>circa 4,2 metri</i>
<i>Errori dovuti al ricevitore</i>	<i>circa 0,5 metri</i>
<i>Errore Totale Quadratico</i>	<i>circa 6 metri</i>

Tabella 1: un esempio di errore quadratico medio per una situazione tipica. Moltiplicando questo valore per l'indice di precisione geometrica (GDOP, spiegato nel capitolo 4) si ottiene una stima grossolana del probabile errore massimo che sta commettendo il nostro ricevitore.

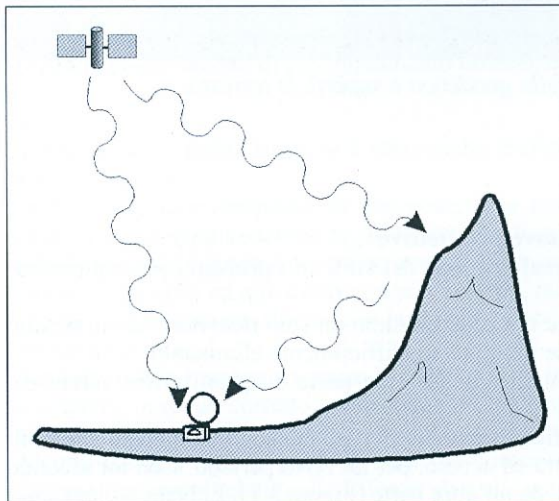


Fig. 2.7: ricezione di un multipath da parte di un ricevitore

posizionatore, allora ne viene scelto uno casualmente, con il conseguente possibile errore.

Il Mapping Datum che descrive in modo piuttosto generale tutta la superficie terrestre, è il WGS 84. Come è noto però la superficie terrestre è molto irregolare, quindi per migliorare la precisione della descrizione sono stati messi a punto dei modelli geodetici la cui validità è ristretta ad una porzione particolare della terra. Ad esempio per l'Europa si può utilizzare il Mapping Datum chiamato "European 1950", mentre per il Nord America è preferibile il "Mississippi 1937". I ricevitori in genere conoscono molti modelli geodetici (anche un centinaio), quindi a seconda della zona del mondo e della carta geografica che si sta usando bisogna usare quello più corretto, pena un ulteriore errore sulla misura planimetrica.

Tutti i datum di cui si è parlato finora non tengono conto delle quote ma solo della posizione sulla superficie. Si tratta cioè di datum orizzontali.

Il datum verticale è il sistema di riferimento per le quote. Tutti noi abbiamo sentito parlare di quote rispetto al livello del mare, ma il livello del mare cambia ogni giorno a causa delle maree, per cui si considera la media delle misure del mare su un periodo di una ventina di anni. Anche così il livello però non è fisso in quanto può variare nel tempo a causa di fenomeni bradisismici oppure di variazioni delle masse glaciali polari.

Un'altra superficie di riferimento possibile per le quote è quella dell'ellissoide di riferimento e la quota viene detta ellissoidica. La quota calcolata dal GPS è una quota di questo tipo e per ottenere la quota sul geoide il ricevitore ha al suo interno un modello del geoide stesso. La bontà della quota ottenuta in questa maniera, a parte gli errori di altra natura, è quindi influenzata dall'accuratezza di questo modello. Questo calcolo può anche essere effettuato a casa utilizzando la quota ellissoidica e la quota del geoide rispetto all'ellissoide ottenuta tramite tabelle o programmi appositi (vedi Figura 2.8).

A questo si aggiunge un'altra fonte di errore, più piccola: quando eseguiamo posizionamenti con buoni indici di GDoP, ovvero utilizzando satelliti posizionati su una larga fascia del nostro cielo piuttosto che concentrati tutti in una unica zona ristretta, miglioriamo la precisione del dato relativo alla misura orizzontale e peggioriamo quello relativo alla misura verticale.

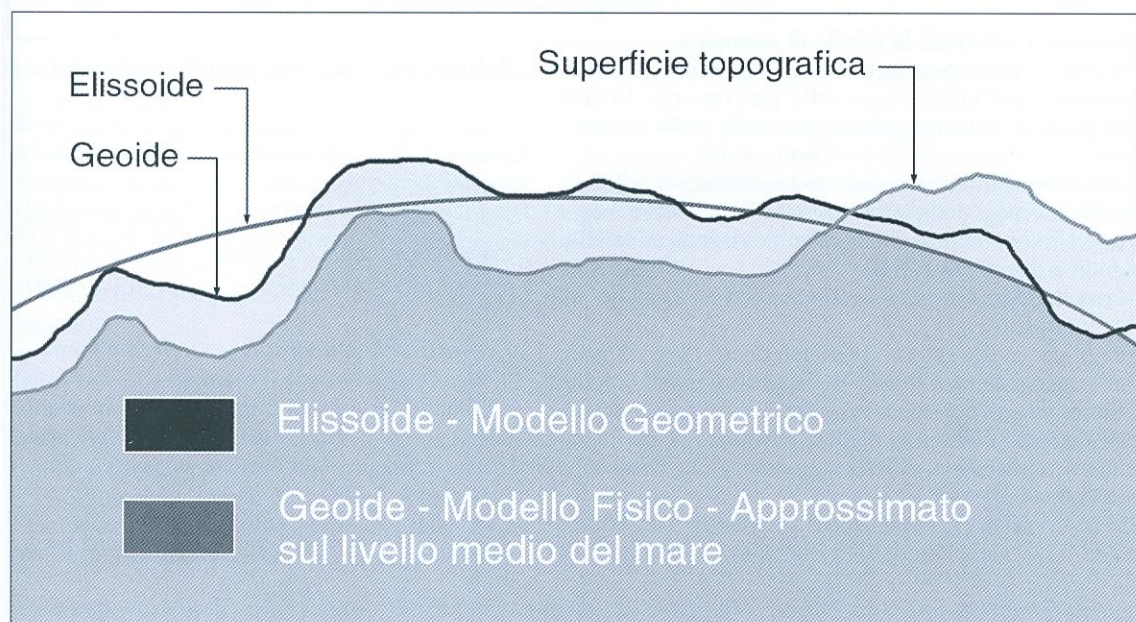


Fig. 2.8: Rapporti geometrici tra modello geodetico e superficie terrestre

3. GENERALITÀ SUI RICEVITORI

3.1. Tipi di ricevitori GPS: singoli e differenziali, nuove prospettive

Finora abbiamo analizzato l'idea che ha consentito la realizzazione del GPS ed i problemi più immediatamente pratici che ha comportato questa realizzazione.

Tutti i ragionamenti fatti seguivano però all'assunto che noi possedessimo un solo ricevitore su cui pesano in modo importante una serie di errori dovuti alle cause più diverse, difficilmente eliminabili.

In realtà se avessimo due ricevitori funzionanti simultaneamente gran parte di questi errori sarebbero eliminabili. Vediamo come.

Pensiamo di installare un ricevitore in un punto geografico trigonometrico (di cui sono facilmente ottenibili coordinate estremamente precise) e di mantenerlo, fermo ed acceso, per un certo periodo. Con un secondo ricevitore intanto posizioniamo il punto che ci interessa, da un'altra parte (Figura 3.1). Ebbene, se leggiamo nello stesso istante le coordinate del primo ricevitore e del secondo e le scriviamo su un foglio, potremo poi controllare le vere coordinate del punto noto, calcolare l'errore che il sistema ci ha fornito in quel preciso

momento (con una semplice sottrazione) e utilizzare tale informazione per correggere le coordinate del punto che ci interessa, perché soggette allo stesso identico errore.

Questo semplicissimo procedimento si chiama Differential Global Positioning System (DGPS) e consente di ottenere, con pochissimi accorgimenti, precisioni ottime (da pochissimi metri a pochi centimetri, a seconda dei modelli di ricevitori utilizzati e del programma di correlazione dei dati).

Con questo metodo possiamo eliminare l'errore di clock dei satelliti e gli errori delle Effemeridi (se i satelliti usati dalla postazione fissa e da quella in movimento sono gli stessi), gli errori dovuti alle deviazioni d'onda da parte della ionosfera e della troposfera (se le due postazioni non sono troppo lontane fra loro).

Il maggior problema di questa tecnica è la necessità di sincronismi precisi nelle letture dei dati sulle due postazioni. A questo proposito conviene analizzare almeno le metodologie attualmente più utilizzate per la sincronizzazione.

Il primo metodo utilizza un collegamento radio tra il ricevitore fisso e quello mobile. La postazione fissa è composta da un apparato ricevente, un piccolo elaboratore ed un trasmettitore radio. Il ricevitore fisso determina le proprie coordinate e passa tale informazione all'elaboratore.

Questo, conoscendo le sue coordinate reali, calcola le correzioni di tempo e delle Effemeridi dei satelliti che la postazione mobile deve apportare nei suoi calcoli.

A questo punto l'elaboratore aggiunge delle informazioni di tempo fondamentali per sincronizzare i due ricevitori e prepara il codice che verrà inviato nell'etere tramite il trasmettitore.

La parte mobile è composta da un ricevitore radio, un ricevitore GPS ed un elaboratore. L'elaboratore mobile riceve i dati sia dalla postazione mobile che dal ricevitore radio, correla le due informazioni e determina così le proprie coordinate reali.

Questo sistema è applicato in larga scala nella nautica. Ad esempio lungo le coste americane (analoghi sistemi sono o saranno messi in opera anche sulle coste europee) è stata approntata una rete di GPS fissi (collocati all'interno dei radio fari) che inviano le informazioni di correzione agli strumenti ricevitori GPS a bordo delle navi in transito in quelle zone. In questo modo una nave durante l'avvicinamento alle coste ha una precisione di posizionamento con un errore inferiore ai 10 metri.

Esistono anche sistemi di posizionamento differenziale in cui l'utente dispone sia della stazione fissa che di quella mobile.

In alternativa a questa strategia è stato anche studiato un metodo di analisi a posteriori dei dati denominato post-processing.

Questo sistema è composto da una postazione ricevente fissa (corredata di un piccolo elaboratore) che memorizza in continuazione le informazioni di correzioni d'errore e le informazioni di tempo, e da un ricevitore mobile (corredato anche questo di un piccolo elaboratore) che memorizza alcune informazioni relative ai satelliti ed alle informazioni di tempo, quando calcola il punto. In questo caso la stazione mobile non ha nessun contatto diretto con la stazione fissa e quindi, in prima battuta, restituisce solo le coordinate affette da errore.

Per correggerle bisogna riversare le informazioni in un computer ove un adeguato programma ricalcola le coordinate in modo corretto, confrontando le informazioni ricavate dai due ricevitori ed eliminando buona parte dei soliti errori.

Alcuni software sono in grado di aumentare ulteriormente la precisione dell'elaborazione, utilizzando altri dati supplementari relativi alle Effemeridi e alle condizioni della ionosfera, messi a disposizione su Internet sempre dai gestori del sistema GPS.

Questa tecnica permette di determinare con maggiore semplicità le coordinate di qualunque punto, elimi-

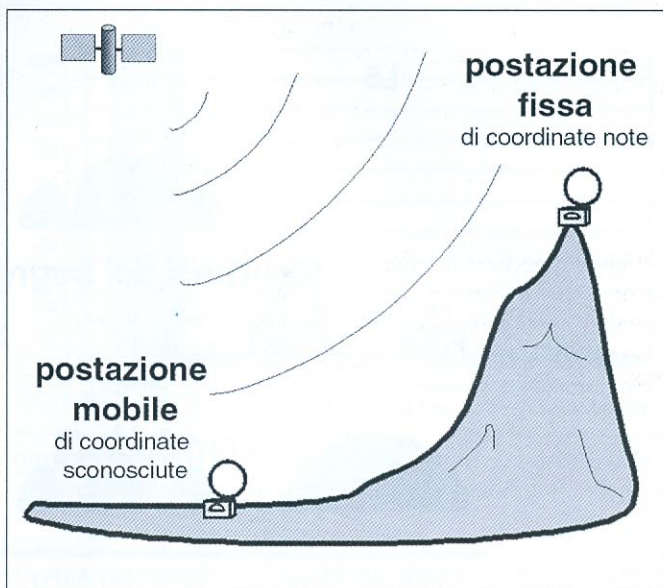


Fig. 3.1: il funzionamento teorico del GPS differenziale, prevede l'uso di una postazione mobile e di una fissa

L5

L2

L1



Struttura del segnale attuale

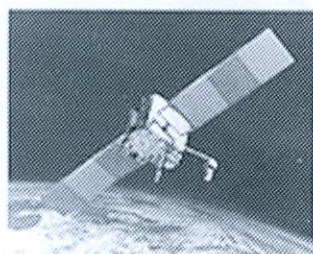


1176,45 Mhz

1227,60 Mhz

1575,42 Mhz

Struttura del futuro segnale



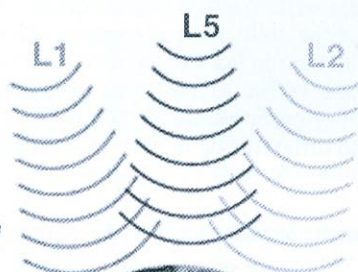
12 Satelliti IIF

Segnale L5

- E' un nuovo robusto segnale per la navigazione civile (Banda Aeronautica)
- Centrato a 1176,45 Mhz

Miglioramenti di L1

- Nuovo codice militare
- Possibilità di aggiungere altre funzioni



Miglioramenti di L2

- Codice civile C/A
- Aggiunto nuovo codice militare
- Possibilità di aggiungere altre funzioni

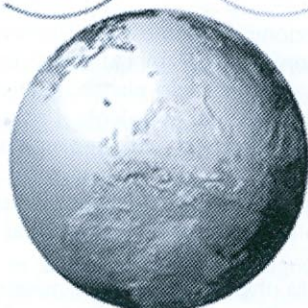


Figura 3.2: nuova struttura del segnale del futuro GPS ed effetti di L5

nando la necessità di un collegamento radio, che potrebbe essere impossibile da utilizzare, ad esempio in una zona impervia.

Un'altra tecnica utilizzata da citare è quella utilizzata da alcuni ricevitori GPS più costosi, che sfruttano una teoria matematica complessa e utilizzano contemporaneamente più frequenze di ricezione, in modo da raffinare ulteriormente la qualità dei risultati.

Non solo i ricevitori subiscono continui miglioramenti tecnici, ma anche il sistema GPS nel suo complesso ha un preciso piano di sviluppo atto a migliorare le prestazioni attuali e ad aggiungere nuove funzionalità. Il piano d'opera che sarà messo in pratica da qui al 2010 prevede un incremento della precisione sia statica che dinamica ed un miglioramento sostanziale nel calcolo della quota.

Questo miglioramento del sistema riguarderà segnali sia civili che militari e verrà raggiunto attraverso l'utilizzo di un nuovo codice denominato M (ad uso esclusivo militare) con l'incremento della potenza del segnale e con l'aggiunta di una nuova frequenza di trasmissione L5, accorgimenti, questi ultimi, a vantaggio anche degli utenti civili (Figura 3.2).

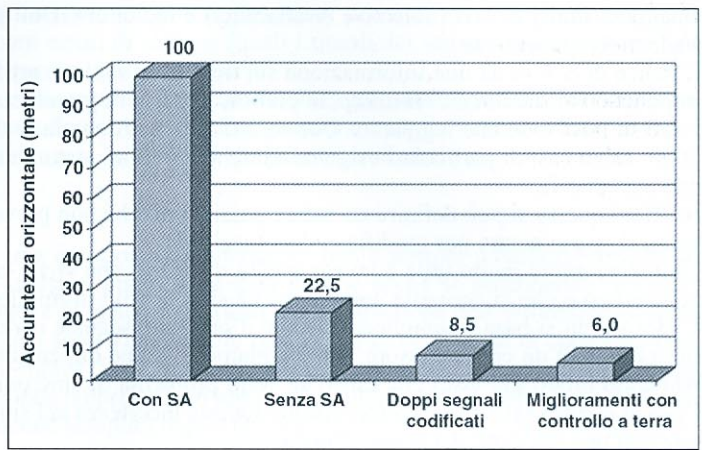


Figura 3.3: grafico delle prestazioni teoriche e pratiche delle varie soluzioni di posizionamento satellitare

Negli ultimi anni è stato realizzato un sistema analogo al GPS da parte della Russia, denominato GLONASS; le caratteristiche tecniche sembrano inferiori a quelle del GPS anche se in alcuni casi il GLONASS è migliore. L'uso che può interessare a noi è legato alla messa in commercio di nuovi ricevitori in grado di elaborare i segnali di entrambi i sistemi di posizionamento, e quindi capaci di fornire informazioni con un livello di precisione nettamente più alto.

Attualmente il loro costo è alto, ma come è accaduto in precedenza con i ricevitori GPS, si tratta solo di attendere con un po' di pazienza e di valutare poi attentamente il rapporto costo/prestazioni (Figura 3.3). Ultimo in fase di tempo ma, molto importante per noi europei, è il progetto denominato GSNN commissionato all'Agenzia Spaziale Europea per scopi aeronautici civili e terrestri di pubblico servizio.

Il sistema prevede l'utilizzo contemporaneo dei due sistemi (GPS e GLONASS) con un ulteriore apporto di informazioni trasmesse da stazioni di terra, tramite Radio Data System, oppure tramite satelliti geostazionari. Il GSNN in una prima fase sarà già disponibile alla fine del 2001, mentre il completamento del progetto avverrà entro il 2005.

3.2. Principali funzioni disponibili sui ricevitori

Esistono in commercio decine di tipi di ricevitori diversi, dedicati ad applicazioni e campi particolari: alcune funzionalità fondamentali rimangono comunque comuni a tutti.

L'informazione principale che ogni ricevitore deve essere in grado di fornire è ovviamente quella di posizione, sotto forma di latitudine, longitudine e quota. Un altro dato che tutti i ricevitori sono solitamente in grado di visualizzare è l'ora, visto che il flusso del tempo è uno degli elementi principali su cui si basa tutto il sistema.

Poi in genere vengono rese disponibili informazioni di tracciamento di una rotta, dal punto in cui ci troviamo verso uno o più punti memorizzati, tramite informazioni di distanza, direzione, velocità e mantenimento della rotta.

4. PREPARAZIONE DEL PALMARE E LIMITAZIONI DI UTILIZZO

4.1. Indici di precisione "importanti"

In generale esistono alcuni semplici criteri di valutazione dell'errore che ci sta penalizzando, che nello specifico variano ovviamente da un ricevitore all'altro, ma che si possono grosso modo dividere in due

categorie: indici di S/A (Selective Availability) e indici di GDoP (Geometric Dilution of Precision). Vediamoli brevemente.

L'indice di S/A ci dà una informazione sul tipo di distorsione artificiale dei dati che il DoD americano sta imponendo ai satelliti e ci fornisce, in pratica, l'ordine di grandezza dell'errore massimo a cui sono soggetti i dati di posizione che leggiamo. Questo indice è stato regolato al valore minimo a partire da maggio del 2000, salvo casi di particolari esigenze tattiche e militari statunitensi (si pensi ad esempio il caso di guerre con altri paesi).

In effetti questo si può definire un indice passivo, perché non prevede comunque alcuna possibilità di intervento da parte nostra per modificare la situazione.

Un indice attivo molto utile è invece quello di GDoP, che viene calcolato sfruttando un semplice concetto geometrico e che ci consente margini anche significativi di miglioramento delle nostre letture.

L'idea su cui si basa è semplice. Il fronte d'onda del segnale inviato dal satellite si può pensare come una linea curva di un certo spessore: immaginiamolo in due dimensioni, per semplificare.

Abbiamo infatti già visto che esiste un serio problema di sincronismo tra satelliti e ricevitore che impone l'uso di quattro satelliti per essere risolto. Questa incertezza nel sincronismo graficamente si può rappresentare con uno spessore del fronte d'onda.

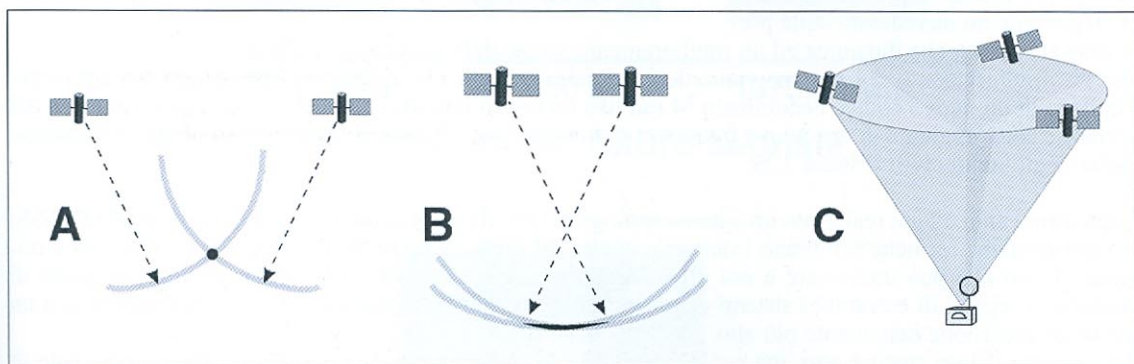


Fig. 4.1: gli indici di diluizione della precisione vengono calcolati in base alla posizione geometrica dei satelliti utilizzati per il posizionamento.

Ripensiamo per un attimo a quanto detto precedentemente a questo proposito e analizziamo il disegno A di Figura 4.1: con due satelliti in due dimensioni non abbiamo in realtà un punto di intersezione dei fronti d'onda ma una piccola area. Noi ci troviamo in un punto imprecisato di quest'areola e solo l'uso di un altro satellite (il terzo in due dimensioni ma il quarto nello spazio) ci consente una stima della posizione.

Ora, se i satelliti sono vicini (Figura 4.1, disegno B) l'areola diventa più grande ed il punto stimato (per tentativi, ricordiamo) dal nostro apparato ricevente perde via via di credibilità. Ebbene l'indice di GDoP si basa su questo concetto, stimando la qualità del posizionamento dei satelliti visibili nel nostro spicchio di cielo. Se l'indice è poco conveniente, basta aspettare che i satelliti cambino posizione per migliorare le prestazioni.

A livello pratico viene calcolato l'inverso del volume del cono equivalente sotteso dai satelliti formalmente utilizzati nel calcolo (Figura 4.1, disegno C) e dal ricevitore, per una costante caratteristica. Tre perché vengono automaticamente scelti i tre migliori per la soluzione delle equazioni tra i quattro disponibili, mentre il quarto viene lasciato per le correzioni.

Infine, in alcuni modelli di ricevitori, esiste un importante strumento di prima correzione manuale degli errori di cui si è parlato, che prevede la conoscenza precisa di almeno una delle coordinate in cui ci troviamo. Ad esempio se disponiamo della quota precisa del punto che voglio posizionare, possiamo suggerirla al nostro ricevitore che rifarà tutti i calcoli in base a questo "dato certo". Il risultato è un miglioramento consistente della precisione.

4.2. Utilizzo di filtri statici (filtri di media)

Spesso i ricevitori in commercio dispongono della possibilità di eseguire posizionamenti con filtri statici, ovvero attraverso processi di media della posizione.

Si tratta di una opzione molto importante, soprattutto in campo speleologico, che può migliorare considerevolmente la qualità del risultato e metterci al riparo da errori grossolani. L'idea su cui si basano questi filtri è semplice: invece che mostrarci la posizione calcolata direttamente dai dati ricevuti dai satelliti, vengono

calcolate diverse posizioni è mediate fra loro. Molte delle imprecisioni derivanti da piccoli cambiamenti delle condizioni locali di ricezione ed alcuni errori di sistema (quali i ritardi dei segnali nella ionosfera, ad esempio), possono essere compensate da questo tipo di approccio.

Talvolta, con una attenta osservazione, saremo persino in grado di accorgerci della presenza di Multipath durante la lettura, ad esempio per il continuo fluttuare del dato di posizione tra valori molto differenti o per una apparente difficoltà di mantenere stabilmente la visibilità dei satelliti utilizzati.

4.3. Il decalogo del buonsenso

Dovremmo sempre tenere bene a mente una questione fondamentale: non è sempre possibile eseguire un posizionamento di qualità accettabile in qualsiasi punto della terra emersa anche se utilizziamo i migliori ricevitori in commercio, dotati di filtri statici e di metodi sofisticati per la correzione dell'errore imposto. Ad esempio, per il posizionamento speleologico sono vincolanti le condizioni morfologiche al contorno, cioè come localmente sono costituiti la valle, il monte, il canalone o il promontorio in cui ci troviamo. La forma e le caratteristiche dell'ambiente che ci circonda rappresentano sempre la limitazione maggiore all'ottenimento di risultati affidabili. Per questa ragione alcune semplici regole di buonsenso nell'utilizzo di queste apparec-

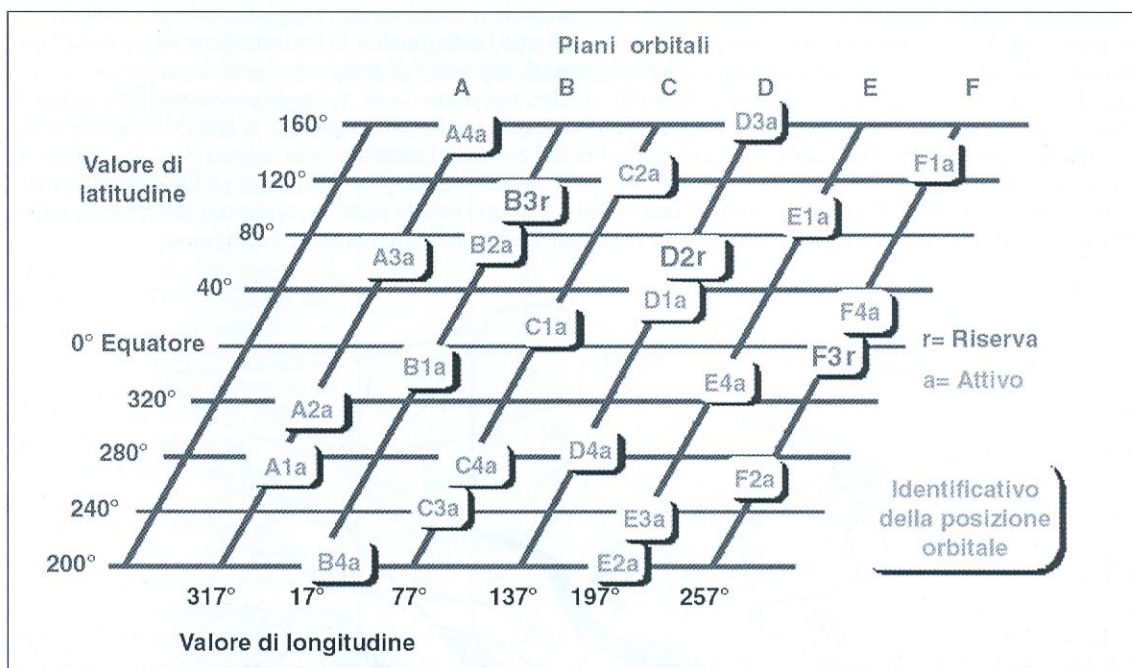


Fig. 4.2: rappresentazione semplificata della costellazione nominale del GPS

chiature possono fare la differenza tra una buona e una cattiva lettura.

1 - Angolo di apertura delle valli

In via indicativa è da escludere la possibilità di eseguire posizionamenti affidabili all'interno di valli molto incassate: per ottenere buone posizioni è necessario avere i due angoli di apertura sul cielo (riferiti agli assi principali della struttura morfologica) inferiori ai 40°-45°. Sono ovviamente ammesse soluzioni di compromesso, ma l'angolo di apertura sull'asse minore non deve mai essere inferiore ai 40° (vedi Figura 4.2).

Con l'esperienza, dopo un po', si acquista un occhio critico sufficiente a valutare di volta in volta le situazioni accettabili e quelle non accettabili.

Le ragioni pratiche di questa limitazione sono ovvie: formazione di Multipath, saltuaria indisponibilità del numero minimo di satelliti nello spicchio di cielo visibile oppure, più probabilmente, un indice della diluizione della precisione (GDOP) sconveniente.

2 - Presenza di vegetazione

La presenza di vegetazione intorno a chi esegue il posizionamento va considerata vero e proprio ostacolo morfologico: non è possibile realizzare posizioni affidabili al di sotto di alberi o circondati da alti cespugli.

Anche durante i mesi autunnali e invernali vale la stessa limitazione, indipendentemente dalla presenza di foglie sui rami, ancora una volta per problemi legati principalmente ai Multipath e alla schermatura.

3 - Posizionare l'antenna esterna

Una annotazione importante riguarda l'altezza da terra dell'antenna esterna (se la possediamo): una volta deciso il punto da posizionare e verificato l'angolo di apertura della valle, l'antenna esterna va sistemata almeno 60-80 cm più alta, verticalmente.

Un'altra considerazione fondamentale, non sempre riportata sui manuali di utilizzo dei ricevitori, è che l'antenna esterna va posizionata in piano (se si tratta di una antenna planare) oppure perfettamente verticale (se si tratta di una antenna a filo).

Comunque in generale è sempre meglio far funzionare l'antenna nelle condizioni migliori di ricezione.

4 - Aggirare il problema degli ostacoli

È straordinario come nella maggioranza dei casi le difficoltà relative a situazioni particolari di posizionamento siano dovute a ostacoli morfologici locali. Nella maggioranza di queste situazioni basta spostare di pochissimi metri il ricevitore per ovviare ad angoli di apertura delle valli troppo mortificanti o ad una vegetazione penalizzante (salendo su un piccolo promontorio o su un albero, raggiungendo una radura, ...). In questo modo, con una combinazione di poligonali esterne tradizionali e la realizzazione di punti GPS, si possono ancora ottenere enormi vantaggi relativamente al risparmio di tempo nel posizionamento.

Quelli in Figura 4.3 sono due esempi di situazioni tipiche: nel primo caso, volendo posizionare un punto di fondovalle ("Punto A"), nonostante ci si trovi ad una notevole profondità rispetto alla linea di superficie del massiccio, siamo in una situazione di buona visibilità del cielo; nel secondo caso invece non sarà possibile realizzare un posizionamento direttamente sul "Punto B" a causa della piccola scarpata a Est e della vegetazione a Ovest e a Nord. Però, con l'aiuto di una bussola e di una rotella metrica, sarà possibile posizionare il "Punto C", dove la superficie del massiccio fornisce una situazione estremamente vantaggiosa.

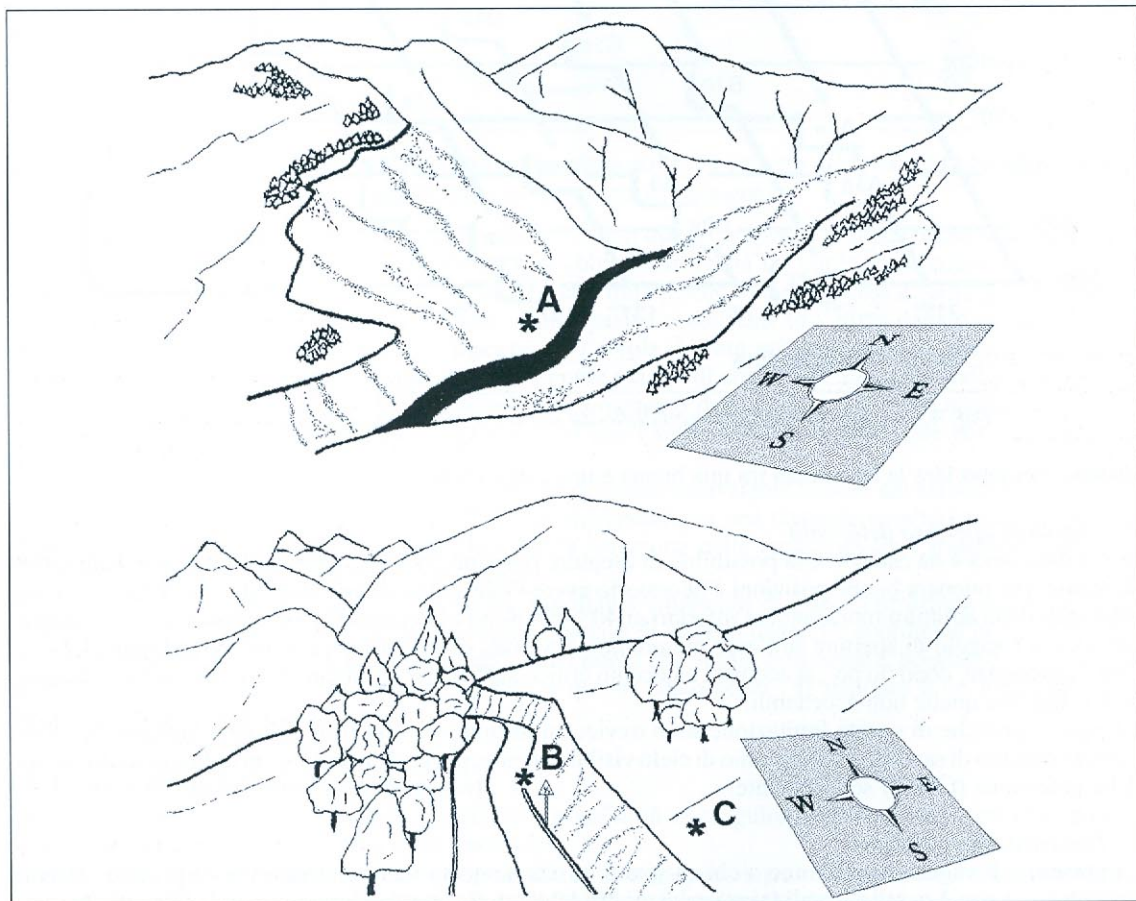


Fig. 4.3: esempi di situazioni pratiche, favorevoli (A,C) e sfavorevoli (B).

5 - Condizioni meteorologiche

I problemi di ricezione collegati al tempo meteorologico sono minori rispetto a quanto si potrebbe pensare, soprattutto utilizzando filtri statici per la media dei dati.

Ma ovviamente vanno evitati, se non per scrupolo quanto meno per una mera questione di praticità, i rilevamenti durante le precipitazioni più violente, durante le grandinate, durante le neviccate.

Va fatta invece una certa attenzione alla presenza di turbolenze elettromagnetiche (fulmini e saette) anche se a notevole distanza da dove si opera: in questi casi i dati raccolti vanno considerati quantomeno con sospetto. Anche un cielo parzialmente coperto da nubi in movimento, cariche di pioggia, va considerato un potenziale problema nei confronti di una corretta lettura dei dati.

6 - Altre possibili fonti di disturbo

Almeno in via del tutto teorica vanno evitati posizionamenti sotto linee di alta tensione, come pure vanno evitate le telefonate con il cellulare o le chiacchierate con il VHF o il CB rimanendo vicino al ricevitore, nell'attesa che questo esegua il posizionamento.

7 - Messa a regime

Il ricevitore, una volta acceso, va messo a regime, cioè bisogna aspettare il tempo necessario all'apparecchio per l'individuazione delle coordinate in cui si trova. È abbastanza difficile stabilire un tempo fisso da lasciare trascorrere prima dell'azionamento dei filtri statici: può variare da 300 secondi (limite minimo da rispettare sempre e comunque!)

a 30 minuti e dipende fondamentalmente se l'ultima volta che abbiamo usato il ricevitore eravamo lontano da dove siamo ora.

Quando il ricevitore aggancia almeno 4 satelliti in modo stabile per un paio di minuti consecutivamente allora siamo "a regime": qualsiasi ricevitore di fascia media fornisce comunque tutte le indicazioni necessarie riguardo ai satelliti utilizzati o in fase di acquisizione, all'interno dei suoi menù.

Teniamo conto che, volendo realmente essere sicuri di ottenere risultati affidabili, bisognerebbe attendere almeno una dozzina di minuti, tempo necessario al nostro ricevitore per aggiornare completamente l'almanacco delle Effemeridi.

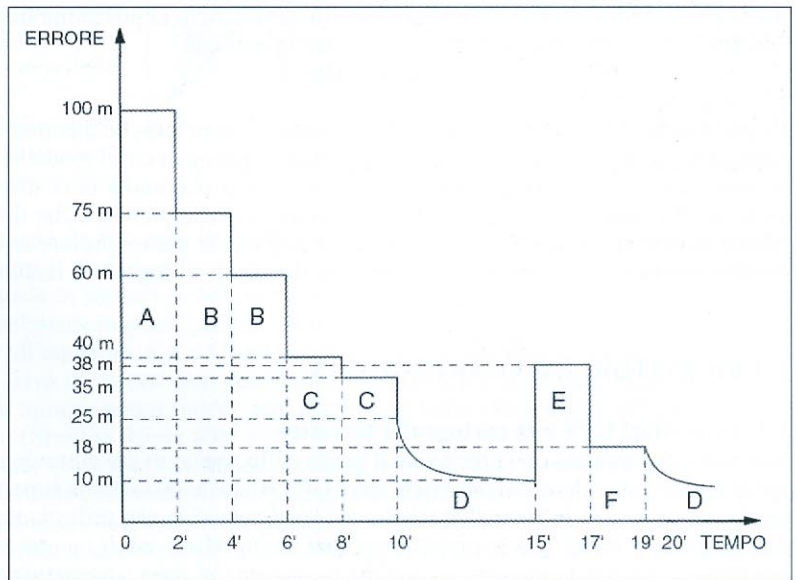


Fig. 4.4: Rappresentazione schematica di un possibile flusso di errore.

A titolo di esempio possiamo immaginare un diagramma (Figura 4.4) che rappresenti, in un possibile caso generale, il flusso dell'errore in funzione del trascorrere del tempo, tenendo presente che alcuni degli eventi indicati possono anche non verificarsi oppure possono accadere in diverso ordine.

- A) Il ricevitore ha acquisito almeno 3 satelliti. Prime coordinate fornite dallo strumento.
- B) Il ricevitore acquisisce dati relativi alle effemeridi dei satelliti. Ad ogni rinfresco delle effemeridi di ogni singolo satellite, migliora la precisione dei calcoli delle coordinate.
- C) Il ricevitore riconosce nuovi satelliti. Il software utilizza per i calcoli solo quelli che danno il miglior parametro GDoP.
- D) I filtri matematici lavorano con dati sufficientemente stabili, migliorando ulteriormente la qualità del dato.
- E) Un satellite, che permetteva un buon GDoP, esce dall'orizzonte dello strumento. Aumenta l'errore sulle coordinate, i filtri sul breve periodo riducono il degrado del dato.
- F) Entra nell'orizzonte dello strumento un nuovo satellite che riporta l'indice GDoP a un buon valore.

In generale i filtri matematici tendono a migliorare la precisione del dato, tendendo a portare il dato ad una situazione stabile e migliore per quelle condizioni di misura. Gli stessi filtri addolciscono sia i fronti di salita e discesa dei diversi eventi.

8 - Sbalzi di temperatura

L'elettronica dei nostri ricevitori portatili è semplice e a basso costo e non dispone di molti accorgimenti tecnici per affrontare situazioni limite. Un problema che può presentarsi è quello dell'utilizzo in acquisizione della nostra macchina in due ambienti attraverso cui si realizza un grosso sbalzo di temperatura. In questo caso è probabile che per un certo periodo di transito i dati forniti dal nostro posizionatore satellitare risultino errati.

Stiamo dunque molto attenti, ad esempio se in piena estate spostiamo il nostro palmare dalle immediate vicinanze di un ingresso da cui esce aria gelida a una zona qualche metro vicino, dove la temperatura locale è quella della media estiva... Una media di dati a cavallo di queste due zone potrebbe anche portare a qualche sgradita sorpresa.

9 - Due volte è meglio di una

Un'altra tecnica per mitigare i problemi sopra accennati è quella, in realtà molto banale, di fare due posizioni in due momenti diversi, a distanza di qualche ora, meglio ancora in giorni diversi. In questo modo si acquisiscono dati in condizioni atmosferiche, ionosferiche e di geometria del sistema diverse.

Se non ci sono stati i problemi sopra descritti, allora i due risultati ottenuti si discosteranno di un valore di pochi metri e possono essere mediati fra loro per ottenere la posizione finale.

Sarebbe buona abitudine adottare sempre questa pratica.

10 - A proposito della quota

La precisione che il GPS ottiene per le coordinate planimetriche è comunque sempre migliore della precisione della quota. Questo accade per l'approssimazione con cui il modello geodetico utilizzato dal ricevitore identifica il livello medio del mare. Per trovare a che quota ci si trova, in genere è meglio utilizzare qualche altro sistema, ad esempio l'altimetro tradizionale piuttosto che il GPS.

Alcuni ricevitori utilizzano la quota immessa dall'utente per migliorare ulteriormente i calcoli. Ovviamente bisogna essere certi del dato che si immette, altrimenti si degrada il risultato.

5. I RICEVITORI E LA CARTOGRAFIA

5.1. I ricevitori GPS e la cartografia terrestre

Una volta determinato con precisione il punto nello spazio in cui ci troviamo, insorgono altri due problemi: come fare comprendere al nostro ricevitore GPS su quale punto della superficie terrestre ci troviamo, trasferendo quindi questa informazione sulla cartina topografica che utilizziamo?

Teniamo conto infatti che le rappresentazioni cartografiche sono rappresentazioni planari del globo, e che per loro natura non lo possono quindi rappresentare del tutto correttamente, ma solo approssimativamente con una interpretazione grafica.

I geografi hanno sviluppato da tempo alcuni modelli matematici complessi, denominati geoidi, per simulare la forma del globo terrestre; ad esempio i nostri ricevitori GPS si rifanno generalmente al modello denominato WGS 84 (World Geographic System).

Essi quindi sono configurati per fornire le coordinate riferite a questo geoide. In linea generale, se non abbiamo altri riferimenti, possiamo utilizzare questa configurazione che va accettabilmente bene dappertutto; teniamo comunque in conto che i dati ottenuti potrebbero differire da quelli indicati dalla nostra carta anche di un centinaio di metri.

Conviene comunque selezionare sul nostro ricevitore GPS, ogni qual volta è possibile, l'ellissoide locale utilizzato per la stesura della carta topografica che stiamo consultando, scegliendolo fra uno di quelli contenuti nell'archivio dello strumento: i risultati saranno in questo modo molto più precisi.

Per il nostro scopo, possiamo considerare l'ellissoide alla stregua di un geoide semplificato, normalmente valido per una limitata porzione del globo terrestre. Questa informazione è di solito riportata ai bordi nella carta: la cartografia dell'Istituto Geografico Militare (IGM) compilata dopo il 1950 e la cartografia regionale italiana (CTR) si basano sul sistema ED 50 (European Datum 1950).

Un'ultima informazione: anche il fatto di aver scelto il geoide corretto per la zona in cui ci troviamo e per la cartografia che stiamo utilizzando, non ci rende immuni da errori.

Per quanto riguarda il sistema ED 50, ad esempio, nei casi più sfortunati possiamo incappare in un errore di

3 metri in direzione Est e di 8 verso Nord, dovuto principalmente alle approssimazioni che necessariamente hanno questi modelli matematici di rappresentazione della superficie terrestre.

Se il nostro GPS non ha in memoria il modello geodetico della carta con cui operiamo, possiamo recuperare dall'ente spaziale americano NIMA, tramite il suo sito Internet, i parametri correttivi per l'ellissoide in oggetto, e introdurli nello strumento tramite la funzione "user datum": leggeremo automaticamente la posizione corretta.

Passiamo ora al secondo problema. Come trasferire i nostri dati in un sistema di riferimento noto alla comunità, se vogliamo che anche altre persone possano utilizzarli?

I geografi hanno messo a punto da tempo una procedura per individuare univocamente qualsiasi punto della superficie terrestre; si tratta del noto sistema delle coordinate terrestri.

Due sistemi si sono imposti sugli altri: quello che utilizza coordinate in gradi, denominato anche geografico, e quello che utilizza coordinate metriche.

Nel primo, ogni punto è identificato da due angoli: quello tra l'equatore e il parallelo su cui ci troviamo, denominato latitudine, e quello tra il meridiano di riferimento, usualmente passante per l'Osservatorio di Greenwich, e il meridiano sul quale ci troviamo, denominato longitudine (Figura 5.1).

Queste misure sono espresse usualmente in gradi, (minuti) primi, (minuti) secondi, decimi di secondo (hddd° mm' ss, s^{ll}): Nord o Sud rispetto all'equatore, Est o Ovest rispetto al meridiano di riferimento.

Per semplificare un po' questa selva di numeri non decimali, frequentemente si trovano espresse anche in gradi, minuti primi, millesimi di minuto primo (hddd° mm.mmm'). In Italia viene anche utilizzato il meridiano passante per Monte Mario (Sistema Roma 40).

Una grossa semplificazione è stata introdotta ricorrendo a sistemi metrici. Tali sistemi si basano sull'adozione di reticolati speciali, usualmente chilometrici, che permettono una facile e inequivocabile determinazione del punto. A parte la complessità che sta alla base di questi modelli (che comunque non ci interessano direttamente), le semplificazioni che ne derivano all'utilizzatore non sono di poco conto: la determinazione è elementare, le misure sono unicamente in metri ed espresse con il sistema metrico decimale, i dati vengono espressi con le stesse modalità (Nord e Est) in qualunque parte del globo, i calcoli per correlare punti dalle coordinate note sono semplificati. Il sistema più utilizzato nel mondo occidentale è denominato UTM (Universale Trasversale di Mercatore); in Italia è anche utilizzato il sistema Gauss-Boaga, che si rifà al sistema Roma 1940.

Per finire, una notizia tranquillizzante: durante le escursioni potremo memorizzare la nostra posizione come più ci torna comodo; quando torneremo a casa, sarà il nostro GPS a trasformare automaticamente i dati nel sistema di coordinate e nell'ellissoide che più ci interessano!

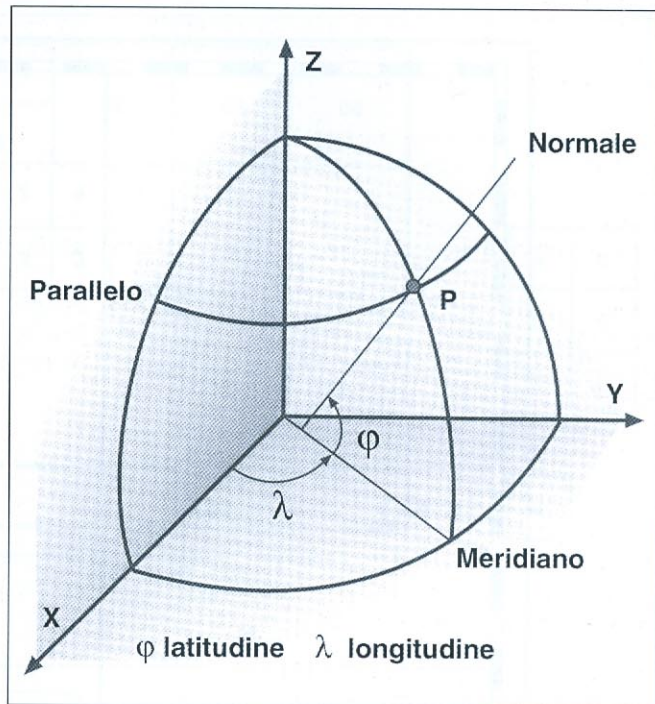


Fig. 5.1: coordinate geografiche di un punto posto sulla superficie terrestre

5.1.1 La cartografia in uso in Italia

In Italia, gli speleologi fanno soprattutto uso di due cartografie: quella emessa dall'IGM e quella emessa dalle Regioni (CTR).

Cartografia dell'Istituto Geografico Militare

La prima cartografia unitaria fu introdotta nel 1875, all'inizio con la stesura di fogli a scala 1:100.000 e in seguito di tavolette a scala 1:25.000; ogni foglio faceva capo a un proprio sistema di riferimento e non erano possibili legami con altri fogli, anche se adiacenti.

La cartografia italiana attuale, formalmente adottata a Roma nel 1940, ma applicata a partire dal 1948,

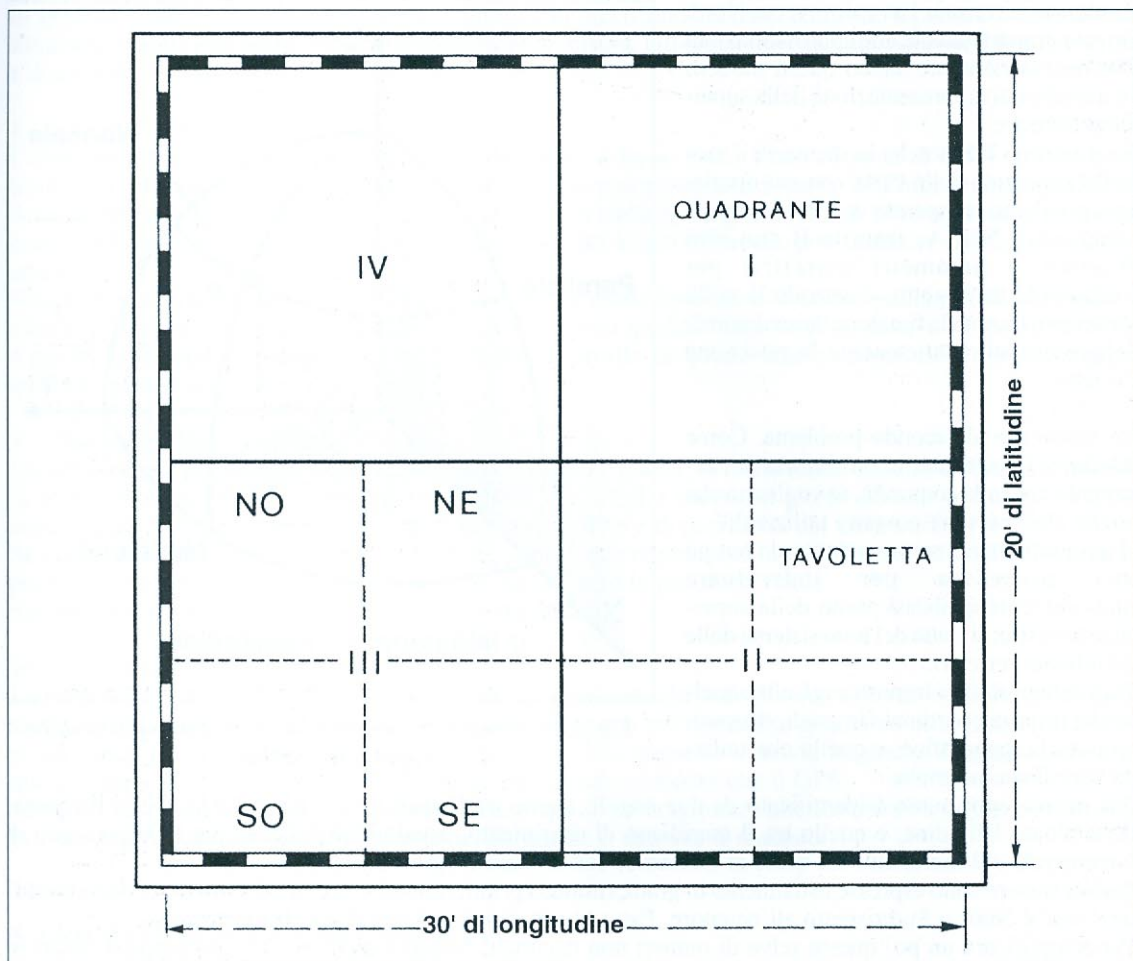


Fig. 5.2: cartografia IGM: suddivisione di un foglio a scala 1:100.000 in quadranti e tavolette

recepisce le proposte avanzate dal Prof. Boaga, geodeta responsabile dell'IGM al tempo; infatti, questa rappresentazione, che utilizza la rappresentazione di Gauss, è anche denominata Gauss-Boaga.

Le origini di questo sistema, ufficialmente noto come "Roma 40", sono rispettivamente il meridiano passante per Monte Mario, posto a $12^{\circ} 27' 08,40''$ dal meridiano di Greenwich e l'Equatore.

Ne deriva che un qualunque punto del territorio italiano, mentre per la latitudine si trova sempre a Nord, in termini di longitudine può trovarsi a Est (Friuli) o ad Ovest (Piemonte) del meridiano centrale.

La Carta topografica d'Italia dell'IGM, si compone di 285 fogli a scala 1:100.000, contraddistinti in primis da un numero arabo e secondariamente dal nome di una località importante compresa in carta; i fogli sono squadriati, con riferimento al sistema Roma 1940, ogni 30' per i meridiani e ogni 20' per i paralleli.

Il foglio è suddiviso in 4 quadranti, contraddistinti, procedendo da Nord a Ovest dal numero romano da I a IV: le cartografie corrispondenti ai quadranti non sono mai state emesse.

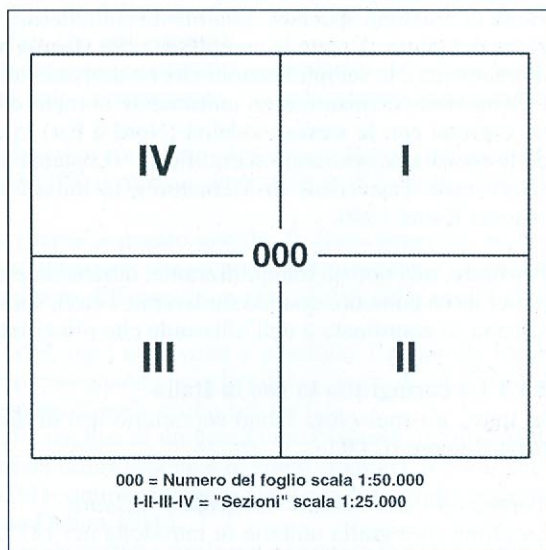


Fig. 5.3: inquadratura della nuova cartografia IGM in allestimento

Il quadrante è suddiviso a sua volta in 4 tavolette, contraddistinte dall'orientamento che assumono nel quadrante (NE, SE, SO, NO) e dal nome di una località importante compresa in carta (Figura 5.2).

La scala di rappresentazione è 1: 25.000 (1 mm corrisponde a 25 m): le tavolette sono state sicuramente le carte più utilizzate in passato dagli speleologi. Nel tempo, le tavolette sono state emesse in varie edizioni: è molto importante specificare l'edizione quando ci si riferisce ad una di queste.

Dal 1983, l'IGM ha promosso una nuova edizione della carta d'Italia a scala 1:50.000, a sei colori, avente un quadro d'unione diverso dal precedente. A causa della scala, è pochissimo utilizzata dagli speleologi per posizionare le grotte, e quindi non ne parliamo.

I fogli di questa rappresentazione, sono invece la base di una nuova famiglia di carte a scala 1:25.000 (Serie 892), tuttora in fase di allestimento: nell'aprile 2000 erano edite 743 "sezioni" su 1377. Ogni "sezione", a quattro colori, ricopre una zona di terreno più ampia rispetto alla classica tavoletta: all'incirca 150 Km².

Riportiamo in Figura 5.3 l'inquadramento di questa nuova cartografia.

Cartografia tecnica regionale

Quasi tutte le regioni italiane hanno curato l'edizione di carte tecniche regionali, molto dettagliate, a scala 1:10.000 (sezioni) o, addirittura, 1:5.000 (elementi); le carte sono tagliate sulla base della nuova cartografia IGM 1983 a scala 1:50.000 e variano leggermente da regione a regione. Ogni carta è contraddistinta da sei cifre: le prime tre dovrebbero indicare il numero del foglio IGM (a scala 1:50.000, non dimentichiamo!), la quarta e la quinta indicano la posizione della sezione all'interno del foglio, mentre la sesta la posizione dell'elemento. Per le carte a scala 1:10.000 (sezioni), la sesta cifra è 0. (Figura 5.4).

Molti enti, particolarmente i Comuni, si sono dotati di rappresentazioni ancora più dettagliate, le mappe, a scala 1:1.000 o 1:2.000, generalmente inquadrate all'interno delle sezioni. Teniamo presente che, di norma, le mappe non riportano le curve di livello.

Altre cartografie di dettaglio possono tornare utili agli speleologi che fanno uso di GPS: è essenziale che riportino l'ellissoide di riferimento e almeno le coordinate dei vertici. A titolo di esempio, per le regioni del Nordest, l'editore Tabacco edita aggiornatissime carte a scala 1:25.000 con sovrastampato il reticolato chilometrico UTM.

5.1.2. Le coordinate in uso in Italia

Ricorderete come la cartografia italiana prevedesse originariamente come assi di riferimento l'Equatore e il meridiano passante per Roma Monte Mario; a questi riferimenti fa capo un sistema di coordinate in gradi ed

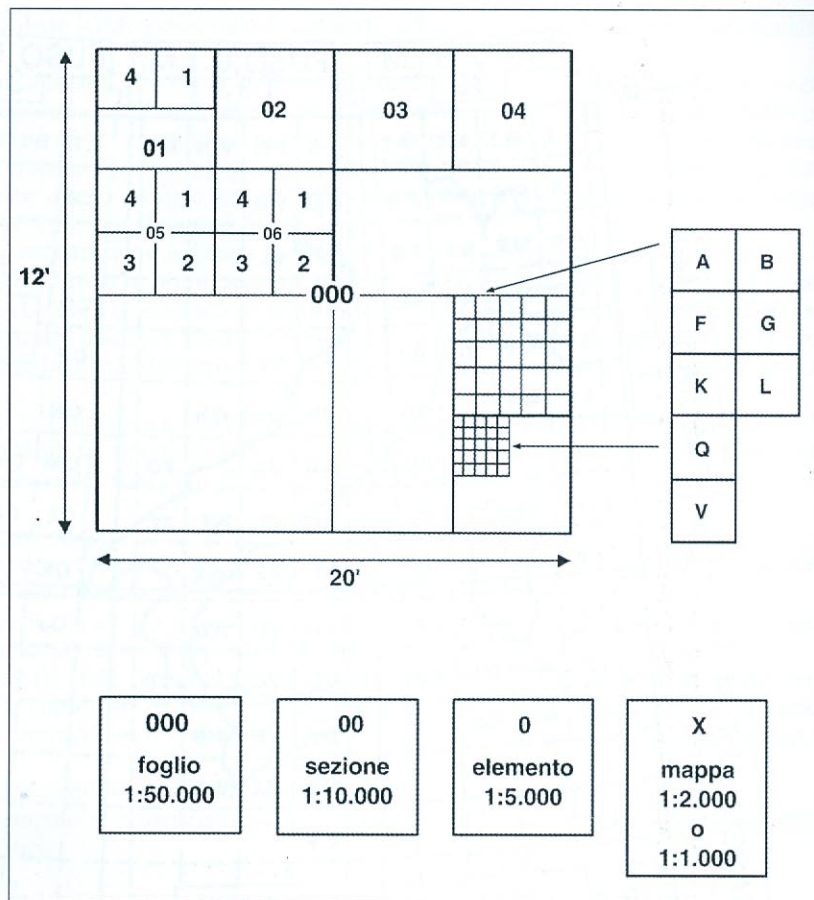


Fig. 5.4: posizione delle sezioni, degli elementi e delle mappe CTR nel contesto del foglio IGM a scala 1:50.000

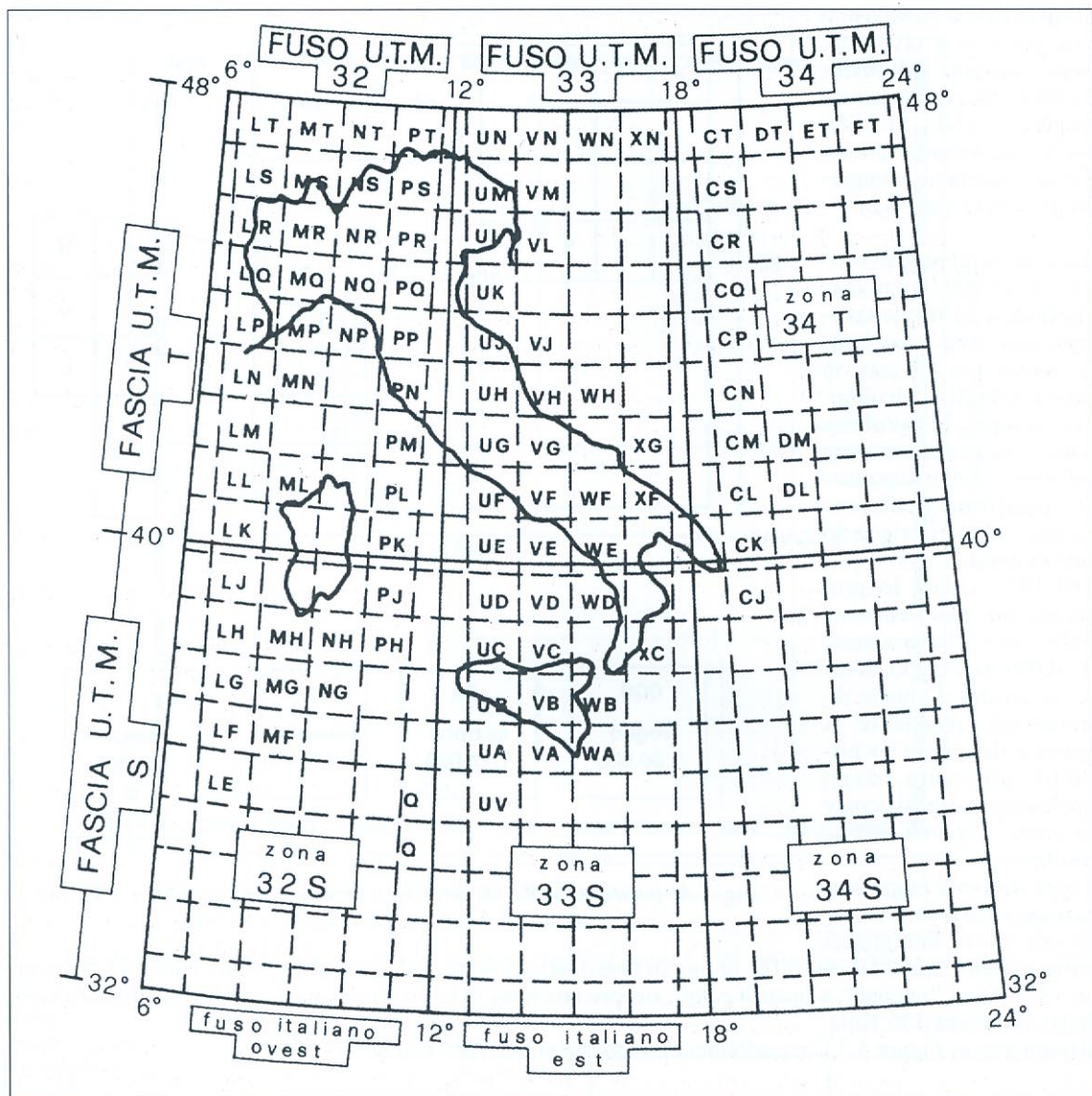


Fig. 5.5: collocazione dell'Italia nel sistema cartografico UTM

il reticolato chilometrico nazionale (sistema Roma 1940). Per quanto concerne le coordinate espresse in gradi, ne deriva che un qualunque punto del territorio italiano per la latitudine si trova sempre a Nord, mentre in termini di longitudine può trovarsi a Est (Friuli) o ad Ovest (Piemonte) del meridiano centrale. Il fatto che molte regioni si trovino a cavallo del meridiano, e le diverse modalità di calcolo, per quanto semplice, per i due settori, danno origine a frequenti errori nella determinazione delle coordinate.

Nel 1950 alcune nazioni dell'Europa occidentale, tra cui l'Italia, sottoscrissero un accordo di unificazione delle reti geodetiche; il riferimento centrale fu fissato a Potsdam, nei pressi di Bonn, mentre come assi di riferimento vennero assunti l'Equatore e il meridiano di Greenwich (Sistema ED50). Ne derivarono due conseguenze:

- 1) L'adozione di due altri sistemi di coordinate, tra cui il reticolato chilometrico UTM
- 2) le coordinate geografiche di Monte Mario subirono delle piccole variazioni

Ne consegue, ahimè per noi, che in Italia sono in uso almeno quattro sistemi di coordinate: gli speleologi ne usano, tutto sommato, tre! Passiamo ora a vederli nel dettaglio.

Coordinate chilometriche UTM

Fanno riferimento alla convenzione ED 50 e sono sempre presenti nei menù dei ricevitori GPS. Di valenza internazionale, sono molto utilizzate in campo militare. In passato, molti speleologi le utilizzavano per

posizionare le grotte sulle tavolette IGM: alcuni catasti regionali, ad esempio il Piemonte, ne raccomandano l'uso.

Per rappresentare la superficie terrestre, il sistema UTM suddivide il globo terrestre in 60 fusi dall'ampiezza di 6° di longitudine, identificandoli con un numero compreso tra 1 a 60; quindi, il globo è anche suddiviso nel senso dei paralleli in 20 fasce di 8°, identificate da una lettera da C a X. L'incrocio dei fusi e delle fasce determina le zone, elementi trapezoidali che vengono ulteriormente divisi in quadrati di 100 km di lato, identificati da due lettere; quest'ultimo artificio serve unicamente ai militari per operare con pochi numeri, onde evitare malintesi tra zone contigue (Figura 5.5).

In pratica, le coordinate di questo sistema indicano rispettivamente in ascissa la distanza di un punto, in metri, dal meridiano centrale del fuso e in ordinata (per l'emisfero N) la distanza dall'Equatore; per evitare numeri negativi o longitudine Ovest, al meridiano centrale di ogni fuso è stato attribuito il valore +500 km. Sulle tavolette IGM questo sistema è sempre riportato sotto forma di quadrettatura dal lato di 4 cm (1 km). Fanno eccezione poche vecchie tavolette destinate ad uso civile e ovviamente quelle precedenti all'adozione della convenzione ED 50.

Per quanto concerne le CTR, la situazione è più variegata: alcune riportano solamente le coordinate UTM dei vertici della carta, altre addirittura riportano ai bordi un simbolo (in Piemonte un segmento terminante con un pallino) in corrispondenza del rispettivo reticolato chilometrico.

Coordinate chilometriche Gauss-Boaga

Fanno riferimento alla convenzione Roma 1940: usualmente non presenti nell'archivio posizione dei GPS palmari, salvo ricorrere ad alcuni trucchi (vedi il capitolo con gli esercizi).

È un sistema utilizzato in passato su alcune carte IGM e da molti catasti regionali per posizionare le grotte sulle CTR. La rappresentazione ha molta affinità con le coordinate di tipo chilometrico UTM.

Raramente capiterà di incontrarle sotto forma di reticolo disegnato sulle tavolette IGM; tutte le tavolette recenti comunque riportano le coordinate dei vertici della tavoletta, evidenziando il reticolato chilometrico ai bordi di ogni carta, con il simbolo —● o —◁ a seconda che ci si trovi a Est o a Ovest del meridiano di Monte Mario.

È invece il sistema di coordinate chilometriche adottato dalle CTR.

Il reticolo è sempre sovrastampato o evidenziato ai bordi con opportuni simboli e, a volte, sono anche indicate le coordinate dei vertici.

Coordinate geografiche riferite al meridiano di Greenwich

Fanno riferimento alla convenzione ED 50: sono sempre presenti nell'archivio posizione dei GPS palmari. Sono abbastanza utilizzate ad esempio per operazioni di localizzazione e soccorso ad opera delle forze pubbliche, specie nel formato gradi, primi, millesimi di primi (hdd° mm.mmm'), ma hanno scarso interesse per gli speleologi.

Sulle tavolette IGM vengono indicate solo nelle edizioni più recenti, in colore violetto, ai vertici della carta. La determinazione manuale su queste carte è piuttosto laboriosa.

Sulle CTR il problema è perlomeno semplificato, in quanto i bordi sono numeri interi, essendo riquadrate su questo sistema. A seconda della regione, potremo trovare le indicazioni solo dei vertici, mentre se saremo più fortunati potremo addirittura trovare ai bordi una ripartizione di primo in primo.

Coordinate geografiche riferite al meridiano di Monte Mario

Fanno riferimento alla convenzione Roma 1940: non presenti nell'archivio posizione dei GPS palmari. L'uso ne è raccomandato dal catasto nazionale della Società Speleologica Italiana, e quindi, purtroppo, sono molto utilizzate dagli speleologi.

Alcune vecchie tavolette riportano direttamente il reticolato in primi; a fianco troviamo stampato anche un coordinatometro che facilita le operazioni di posizionamento. Facciamo attenzione a verificare l'ellissoide di riferimento della carta.

Tutte le tavolette attuali riportano le coordinate dei vertici e una serie di tratti pieni e vuoti, ai bordi della carta, che permettono di disegnare manualmente un reticolo con distanza un primo.

Con gioia degli speleologi, raramente sulle CTR è riportato questo tipo di coordinate.

6. APPLICAZIONI IN CAMPO SPELEOLOGICO

6.1. Errori del metodo

Come ben sa chi opera in campo scientifico, ogni misura sperimentale è affetta da errori.

Il problema è talmente conosciuto e importante che, ogni qual volta viene messo a punto uno standard di

misura, l'ente proponente provvede a far effettuare varie misure in diversi laboratori. La dispersione dei risultati avuti è un indice macroscopico dell'interazione dei vari errori possibili, e quindi dell'attendibilità della misura.

Classicamente, gli errori vengono suddivisi in due grandi famiglie: errori accidentali ed errori sistematici. Nel nostro caso, ci è più comodo raggrupparli in due classi meglio gestibili dallo speleologo: quelli effettuati dall'operatore e quelli effettuati dal sistema.

Diamoci ora un'occhiata più da vicino e confrontiamoli con le precisioni richieste dalla pratica speleologica.

6.1.1. Errori dell'operatore in fase di acquisizione dei dati

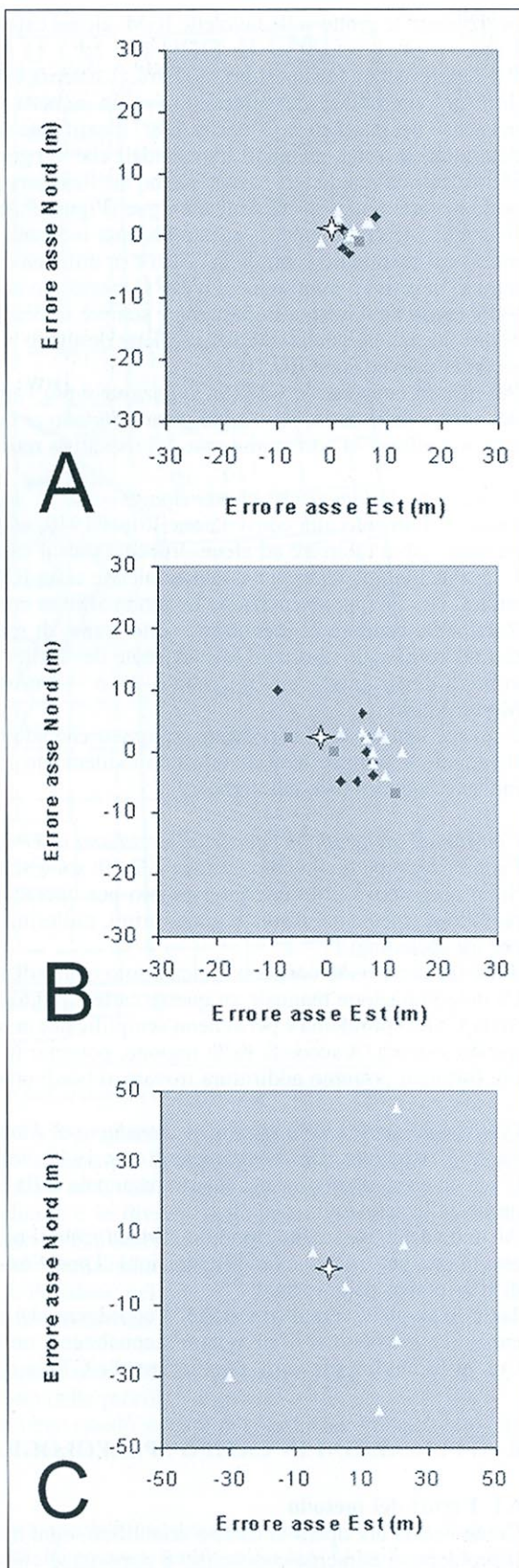
Non considereremo qui le disattenzioni o le cantonate accidentali: si evitano facilmente con un po' di attenzione. In generale questi errori possono essere molto vari e anche tragicomici: impostazione di unità di misura errate, errata taratura dell'altimetro o della bussola, sistema di coordinate o mapping datum impostati nel GPS non confacenti con la carta in uso, errata trascrizione del punto, modifica dei dati acquisita da parte di estranei (di norma, allievi del corso), ecc. Usualmente di questi errori ci si accorge facilmente, in quanto, nel 99% dei casi, i dati ottenuti sono senza senso.

Più subdoli sono gli errori dovuti a riflessione o attenuazione del segnale; nel primo caso ne sono principalmente responsabili le pareti rocciose, nel secondo la vegetazione. Nei rari casi in cui ci siamo incappati, abbiamo riscontrato errori di posizionamento, dovuti a multipath del segnale, fino a circa 600 m; l'attenuazione dovuta a foglie e pessima posizione del ricevitore ci ha portato fuori zona fino a una decina di chilometri. Ovviamente, questi posizionamenti sono del tutto inaccettabili nella prassi speleologica.

Ragionevolmente, si può porre rimedio adottando le seguenti precauzioni:

- Verificare continuamente sul GPS la dispersione dei dati di acquisizione. Quasi tutti i ricevitori hanno una funzione che valuta l'accuratezza del segnale acquisito, quali la figura di merito (FOM) che indica il raggio di un ipotetico cerchio in cui cade il 66 % dei punti determinati, o l'indice di diluizione della precisione PDoP. Tanto più piccolo è questo valore, tanto maggiore è la probabilità di una corretta acquisizione.
- Utilizzare, se presente nello strumento, la funzione media, particolarmente efficace quando c'è di-

Fig. 6.1: *Dispersione nell'acquisizione dei dati con diversi modelli di GPS palmare. Condizioni di acquisizione ottimale (A), discreta (B), con S/A attivata (C)*



spersione dei dati.

- Effettuare due letture, da posizioni diverse, spostandosi di qualche decina di metri dall'ostacolo. Nel posizionare il punto, sarà ovviamente necessario tenere conto degli spostamenti che avremo effettuato. Se i dati delle due acquisizioni non sono congrui, almeno una delle due è errata.

Anche l'utilizzo di una antenna esterna, magari con un buon guadagno e posizionata opportunamente, non può che migliorare l'acquisizione del segnale.

Oltre a mettere in pratica i consigli sopraddetti, cui abbiamo specificatamente dedicato il capitolo 4, in fase di acquisizione non possiamo fare altro per diminuire l'errore.

6.1.2 Errori di sistema

L'insieme dei vari fattori che possono generare errori in fase di acquisizione sono stati analizzati già nel paragrafo 2.4.2; operando correttamente, ci attendiamo quindi un errore di posizionamento tra i 4 e i 10 m. Se dovremo riportare su una carta topografica il punto acquisito, all'errore di posizionamento potrebbe aggiungersi l'errore di conversione tra il geode WGS84 e l'ellissoide in uso alla carta.

L'errore massimo in cui possiamo incappare in Italia è:

<i>Tipo di carta</i>	<i>Mapping datum usato</i>	<i>Errore asse E-O (m)</i>	<i>Errore asse N-S (m)</i>	<i>Errore quota (m)</i>
IGM, CTR	E.D. 50	3	8	5
IGM, CTR	Roma 1940	25	25	25
Tabacco, Kompass	E.D. 50	3	8	5

Come si vede, ove possibile, conviene quindi sempre operare con il Mapping Datum E.D. 50, anziché Roma 1940.

Per scendere al concreto, centinaia di acquisizioni in diverse località dell'Italia settentrionale, con una decina di GPS palmari di diverso modello, ci hanno permesso di verificare la situazione che riportiamo in tabella. È da notare che sono stati utilizzati, quale riferimento, punti riportati sulle CTR a scala 1:10.000 del Friuli, della Liguria, del Piemonte e della Lombardia.

<i>Condizioni di acquisizione</i>	<i>Dispersione acquisizione dati (FOM)</i>	<i>Errore medio¹</i>	<i>Errore altimetrico²</i>
<i>Apertura del cielo ottima, meteo uniforme</i>	<i>4-6 m</i>	<i>3-7 m</i>	<i>2-16 m</i>
<i>Apertura del cielo discreta, meteo non uniforme</i>	<i>8-18 m</i>	<i>5-15 m</i>	<i>2-16 m</i>
<i>Apertura del cielo ottima, uniformità meteo, S/A attivata</i>	<i>12-20 m</i>	<i>10-50³ m</i>	<i>5-40³ m</i>

Note Tabella 1 Dispersione in cui cade il 70% delle determinazioni

2 GPS non dotati di altimetro barometrico

3 Con funzione di automeia attivata

La cosa, è resa meglio in Figura 6.1, dove sono presentati tre casi di dispersione nell'acquisizione dei dati, calcolati con condizioni di posizionamento ottimali (caso A), con condizioni di posizionamento discrete (caso B), ed infine in presenza di S/A con funzione automeia attivata (caso C).

In conclusione, possiamo affermare che operando correttamente ci porteremo a casa un dato con un errore di posizionamento dell'ordine dei 5-10 m e un errore sulle quote di 5-20 m (2-5 m se opereremo correttamente con un GPS munito di altimetro barometrico).

Attenzione, però: queste osservazioni valgono a partire da maggio 2000, da quando cioè il ministero della difesa americano, ha disabilitato l'errore di S/A. Se i dati sono stati acquisiti precedentemente, operando al meglio e con un sistema di accumulo e media dei dati, potremo attenderci un errore di posizionamento di 25-40 m; se non abbiamo provveduto a mediare i dati acquisiti, l'errore può arrivare fino a 120 m.

Vediamo ora in che ambito possiamo utilizzare questi dati in campo speleologico.

6.2 Utilizzo dei dati in campo speleologico

Posizionamento di una grotta sulla carta topografica e utilizzo del dato per fini catastali.

Alla Scuola Militare Alpina, l'insegnante di topografia insisteva nel ricordarci che per fare il punto su una tavoletta IGM, una persona dotata di vista d'aquila commetteva un errore di almeno 0.2 mm (5 m in termini reali!) nel valutare la distanza sul coordinatometro e almeno altri 0,2 mm nel posizionare sulla carta il punto, pur dotandosi di matita molto appuntita. Chi poi doveva utilizzare un punto così posizionato, ricorreva nel medesimo tipo di errore. Quindi, nel determinare le coordinate di un punto su una tavoletta IGM, era inutile spingerci a precisioni superiori ai 10 m.

Se estendiamo lo stesso discorso alle sezioni CTR (scala 1: 10.000), la soglia di errore passa a 4 m, 2 m usando gli elementi, che sono a scala 1:5.000; di ciò, come speleologi, dobbiamo tenere conto, visto che molti di noi utilizzano ancora le gloriose tavolette IGM, e che l'attenzione posta in genere a queste operazioni (la vista d'aquila...) non è poi la massima.

Le coordinate determinate tramite GPS, ovviamente, non richiedendo un passaggio su carta, ci permettono, per cominciare, di evitare questo tipo di errore.

La precisione richiesta dai vari catasti speleologici regionali per posizionare l'ingresso di una grotta è piuttosto variegata, variando da ente a ente. In alcuni casi si richiede una precisione di 25 m, in altri che l'ingresso sia posizionato strumentalmente, con tacheometro o con una poligonale tirata a partire da un punto riportato sulla sezione o sull'elemento della CTR, utilizzando bussola e clinometro.

L'errore atteso nel primo caso non supera 1 o 2 metri; ma se le coordinate dei punti di riferimento sono state ricavate graficamente dalla carta, come capita nella maggior parte dei casi, possiamo aggiungerci almeno altri 2-4 metri.

Nel secondo caso, l'errore dipende fortemente dalla estensione della poligonale: circa 2 m per ogni 100 m di lunghezza. Bisogna poi aggiungere la solita indeterminazione legata al posizionamento dell'origine (la vista d'aquila...). Per 200-300 m di poligonale (caso medio), possiamo quindi attenderci un errore di 6-10 m.

Risulta quindi evidente che la precisione di un posizionamento ottenuto attraverso un GPS palmare, utilizzato scientemente, è equivalente (se non migliore...) a quella fornita da poligonali esterne con bussola e clinometro; è di poco inferiore a quella ottenuta con un tacheometro, quando la poligonale o triangolazione si appoggia a punti con coordinate ricavate graficamente dalla cartografia CTR. Teniamo altresì presente che, quando si opera con precisioni di questo ordine di grandezza, le attenzioni e le precauzioni da adottare escono dal bagaglio tecnico del comune speleologo. Pensateci: quanti sono gli speleo del nostro gruppo che sanno usare un tacheometro?

Se poi la cartografia di riferimento è costituita da tavolette a scala 1: 25.000, il risultato fornito dal GPS è più che attendibile.

È anche la volta buona per mettere in pensione la tecnica di triangolazione con bussola, un classico dei corsi di speleologia: a volte mi chiedo quanti degli istruttori che la insegnano l'abbiano mai verificata sul campo, visto che l'errore che fornisce, quando va bene, parte dalla ventina di metri in su. Sicuramente l'uso del GPS eviterà nuovi posizionamenti "di fantasia", posizionamenti che affliggono un po' tutti i catasti speleologici. Un ulteriore vantaggio è che lo speleologo, a rigore, può operare anche in assenza di cartografia del luogo; comunque, sconsigliamo caldamente di adottare questa prassi.

Altro discorso vale invece per l'altimetria: solo l'opportuno impiego di GPS dotati di altimetri barometrici può fornire quote con un errore di ± 3 m, e quindi di un certo interesse per l'accatastamento dei dati. Con altri GPS, è meglio se lasciamo stare!

Concludiamo questo paragrafo riportando questa informazione, per certi versi, emblematica.

Il catasto regionale Friuli-Venezia Giulia ha in corso il posizionamento degli ingressi di tutte le grotte, mediante tecnica DGPS. I dati finora determinati, confrontati con quelli ottenuti con tacheometro, o tecniche equivalenti, mostrano differenze per un consistente numero di grotte di 3-5 m, per un secondo fascio di 6-9 m, mentre per un certo numero di grotte la differenza è di 11-14 m!

Sorge spontanea una domanda: ma quanto sono affidabili le CTR in uso?

Ricerca di una grotta posizionata precedentemente con GPS

Nessun problema particolare si pone in questa fase, se non tenere presente che il punto indicato dal GPS potrebbe distare dal punto reale dai 5 ai 20 metri, nei casi più sfortunati. Guardiamoci intorno, mentre continueremo a interrogare il nostro GPS.

Ricerca di una grotta con dati di letteratura o di catasto

Ammettendo che lo speleologo che l'ha posizionata in passato non sia incorso in qualche colossale abbaglio, occorre tener conto dell'indeterminazione dovuta alla cartografia usata in origine e al metodo di posizionamento utilizzato al tempo.

Quindi ci aspetteremo, nel trovarla, questa indeterminazione:

Grotta posizionata con tacheometro o DGPS: 5-12 m

Grotta posizionata con poligonale: 5-20 m

Grotta posizionata con tacheometro o poligonale su carta al 25.000: 10-30 m

Grotta posizionata a "occhio" su carta al 25.000: 10-100 m (e oltre...), in funzione dell'occhio del collega che l'ha posizionata. Se questo era un bravo topografo, potremo aspettarci 10-40 m.

Verifica della precisione del rilievo di una grotta con due o più ingressi.

Se non disponiamo di una carta dettagliata, o siamo pigri, il ricevitore GPS ci permetterà di verificare la correttezza del rilievo interno o, quantomeno, della posizione relativa dei vari ingressi. Se la poligonale della grotta è stata sviluppata a computer, avremo un riscontro immediato.

A rigore, la distanza tra gli ingressi dovrebbe essere di almeno 700 m per avere una attendibilità significativa (14 m) per entrambe le tecniche: infatti, un rilievo speleologico è ritenuto attendibile quando la poligonale ha un errore che non supera il 2%. In realtà possiamo operare con distanze ben minori, in quanto, trattandosi di misure relative, molti errori si compensano data la vicinanza dei due punti e quindi la somiglianza dei disturbi ambientali che affliggono la misura. Ovviamente effettueremo le misure nel più breve lasso di tempo possibile, con lo stesso GPS; possibilmente sviluppiamo il tutto per via matematica, e non attraverso posizionamento dei punti sulla carta.

Potremo addirittura toglierci un'altra curiosità: se il rilievo topografico è corretto, saremo in grado di valutare quanto è l'errore indotto dall'uso del Nord magnetico rispetto a quello geografico.

7. ESERCIZI

7.1. Setup del ricevitore GPS

Prima di partire a posizionare grotte o a ricercarle, ci conviene ovviamente predisporre lo strumento all'uso, standocene comodamente al calduccio di casa. Usualmente le cose da fare sono:

Firmware: se abbiamo un cavetto per collegare il nostro ricevitore al computer, conviene ogni tanto aggiornare il firmware del nostro strumento. Molti produttori lo mettono gratuitamente a disposizione attraverso il loro sito Internet.

Ora: se ci da fastidio operare con l'ora internazionale di Greenwich, correggiamola (sempre che il nostro strumento ce lo permetta): usualmente si introduce la differenza di fuso orario, oppure si sceglie una località di riferimento importante (Roma, Parigi, Berlino...)

Unità di misura: vogliamo operare con miglia, piedi, pollici? Allora non tocchiamo nulla. Altrimenti specifichiamo allo strumento che vogliamo operare con il sistema metrico decimale, intervenendo nei campi distanza, velocità, angoli, altezza, pressione. Non è detto che tutte queste funzioni siano comprese nel nostro ricevitore GPS.

Tarature: se al nostro ricevitore GPS è associata una bussola magnetica, ricordiamoci di tararla su un piano, ovviamente lontano da metalli e da forti campi elettromagnetici; in alcuni casi la taratura viene persa ad ogni cambio batterie. Se al suo interno c'è un altimetro barometrico, effettuiamo la taratura sul luogo dell'uscita, ripetendola frequentemente con l'aiuto della carta topografica (più volte nell'arco della stessa giornata).

Mapping Datum: inseriamo quello idoneo alla carta che utilizziamo. Per l'Italia, sia che utilizziamo le tavolette IGM o le Carte Tecniche Regionali, andrà bene ED 50. Se non sappiamo quale sia il modello geodetico migliore per la zona in cui ci troviamo, lasciamo il WGS 84: in questo caso però, se dobbiamo posizionare i punti rilevati su carta, aspettiamoci errori anche di un centinaio di metri.

Sistema di posizionamento (le coordinate): se i dati non dovranno essere riportati su carta e serviranno solo per l'orientamento personale non ha importanza cosa sceglieremo. Se dovremo posizionare dei punti su una carta, scegliamo il sistema di coordinate utilizzato dalla carta: ove possibile, ovviamente daremo la preferenza ai sistemi chilometrici, più semplici da gestire. Usualmente, per l'Italia conviene scegliere il sistema UTM.

Inizializzazione: se il nostro GPS è nuovo, o se ci siamo spostati di varie centinaia di chilometri da quando abbiamo effettuato l'ultima lettura, noteremo che saranno necessari parecchi minuti prima che lo strumento sia in grado di calcolare la propria posizione; per evitare di effettuare questa inizializzazione mentre siamo in equilibrio precario su un albero o su uno sperone roccioso, ci conviene effettuarla prima dell'uscita.

Facciamolo se possibile in luogo aperto, con ampia porzione di cielo visibile per renderla più veloce. Alcuni ricevitori possono essere "aiutati" in questo lento processo, indicando la nazione in cui stiamo operando: questo permetterà loro di concentrare la ricerca solo su alcuni satelliti, guadagnando parecchio tempo.

7.2 Posizionare e memorizzare un punto

Individuato il punto che intendiamo posizionare (speriamo sia l'ingresso di una nuova grotta!), portiamoci sopra, accendiamo il ricevitore GPS e diamo un'occhiata intorno.

C'è una buona apertura sul cielo? Se è così, sullo schermo appariranno numerosi satelliti e il loro segnale (se il nostro modello lo visualizza) sarà piuttosto intenso.

Ricordiamoci sempre di verificare che la posizione dei satelliti agganciati generi un cono di ampio volume, quindi controlliamo che sia basso l'indice di diluizione della precisione geometrica (GDOP, FOM), oppure verifichiamo noi stessi, sul nostro ricevitore, la posizione dei satelliti utilizzati al momento.

Solo ora chiediamo al ricevitore GPS di memorizzare la posizione. Non scordiamoci di associarle un nome che ci aiuterà a ritrovare i dati, ed eventualmente un simbolo; se il nostro strumento dispone della funzione di media (average) attiviamola e lasciamola funzionare per un paio di minuti prima di salvare il punto.

A seconda dello strumento che possediamo, trascriviamo sul nostro taccuino di campagna: data, ora, nome del punto, errore di posizionamento, quota. Ricordiamoci che pochi ricevitori memorizzano l'intera serie dei dati visualizzati sul display!

Per scrupolo, al termine dell'acquisizione verifichiamo con la coda dell'occhio che l'errore di posizionamento non sia nel frattempo schizzato alle stelle e se siamo dei tipi precisi, ripetiamo l'operazione più avanti nel tempo. Se i risultati sono confrontabili, mediamoli; se non lo fossero, con i dati rilevati sul taccuino di campagna potremmo essere già in grado di scartare uno dei due valori.

La copertura celeste è sconveniente? Diamo una occhiata con attenzione allo schermo, vediamo in quale direzione sono i satelliti non agganciati e confrontiamoli con gli ostacoli del terreno. Quasi sempre troveremo una posizione a breve distanza più aperta: magari ci sono un albero o una parete proprio sulla perpendicolare dell'ingresso.

In questo caso il gioco è fatto! Ricordiamoci di annotare sul quaderno di campagna la differenza di quota tra l'ingresso e il punto in cui abbiamo fatto la posizione. Se il punto che abbiamo posizionato è un po' distante, muniamoci di pazienza: dobbiamo anche misurare la distanza, la direzione e la pendenza con rotella metrica, clinometro e bussola (alcuni ricevitori GPS l'hanno incorporata), per le opportune correzioni.

La copertura celeste è disastrosa, siamo in una valle troppo stretta? Peccato, ma dobbiamo affidarci ai mezzi classici, quali una triangolazione o la stesura di una poligonale fino a un punto noto (se proprio non c'è altro, magari un punto posizionabile con il ricevitore GPS).

Un'altra precauzione da adottare: siamo nei pressi di una parete rocciosa? Attenzione ai segnali riflessi! Ripetiamo il posizionamento due, o anche tre volte, spostandoci almeno di una quindicina di metri dalla parete. Prendiamo nota della direzione e della distanza delle nostre due stazioni dall'ingresso, controlliamo subito, almeno approssimativamente la validità dei due posizionamenti e lasciamo per casa il lavoro di stesura finale.

Un'ultima questione importante: la quota dell'ingresso. Come abbiamo discusso prima, la quota fornita dal GPS deve ritenersi puramente indicativa, e quindi non è utilizzabile per il posizionamento della grotta.

Se usiamo un altimetro barometrico, o un GPS munito di questa funzione, possiamo agire in tre modi:

- 1) Nel corso della giornata procediamo più volte a tarare l'altimetro, utilizzando i punti quotati riportati sulla carta (sistema più approssimativo)
- 2) Nel corso della giornata quando passiamo su un punto quotato annotiamo la quota indicata dall'altimetro, quella del punto quotato e infine l'ora. A casa, potremo facilmente risalire all'errore dell'altimetro in funzione dell'ora, e quindi correggere del dovuto le letture effettuate.
- 3) Lasciamo in macchina un barometro/altimetro munito di dispositivo di memorizzazione (alcuni orologi della Casio sono muniti di questa funzione), che ci registrerà l'ora e la rispettiva variazione di pressione/quota. A casa ricaviamo la funzione e correggiamo di conseguenza le quote lette sull'altimetro.

Rimarremo sorpresi dalla precisione fornita dai metodi 2 e 3 che, nel caso si sia operato correttamente, si attesta sui 2-3 m.

Un altro buon sistema per la determinazione della quota consiste nel misurare con il clinometro le pendenze

di altri punti topografici quotati riportati in carta; usualmente si faranno almeno tre letture. Una volta riportata in carta la nostra posizione, si ricaverà dalla stessa la distanza planimetrica e con una semplice correlazione trigonometrica sarà possibile avere il dislivello dal punto quotato:

$$\text{dislivello dal punto quotato} = \text{distanza planimetrica} \cdot \text{tangente della pendenza}$$

Determinata la quota assoluta, si mediano i valori, quando congruenti. Ovviamente, più i punti sono vicini, migliore è il nostro clinometro (ottimo il modello Abney), minore è il dislivello, più alta sarà la precisione ottenuta.

7.2.1. Riportare su una cartografia IGM e CTR le coordinate memorizzate nel corso di una uscita.

Se, come consigliato, abbiamo memorizzato nel Mapping Datum il sistema ED50 e il posizionamento è stato fatto con coordinate UTM, non ci sono problemi, altrimenti ci conviene settare ora il ricevitore GPS con queste funzioni.

Per le tavolette IGM, il reticolato IGM è già tracciato: andiamo nella memoria del GPS, e richiamiamo il punto salvato. Se abbiamo effettuato più di una memorizzazione, e i dati sono congruenti, mediamoli. Posizioniamo il punto con l'aiuto di un coordinatometro stampato a destra sulla carta. Noteremo che il GPS riporta la zona, ma non il quadrato di 100 km di lato: si ovvia facilmente usando tutte le cifre riportate in carta, anche quelle in caratteri più piccini, scritte solo sui primi numeri del reticolato chilometrico e che rappresentano la distanza in centinaia di chilometri dal fuso centrale e la distanza dall'equatore. Se non sappiamo come fare, le modalità per posizionare un punto sono descritte sul fianco destro della carta, sia in italiano che in inglese; oppure guardiamo in appendice.

Per le carte CTR, di solito risulta prima necessario tracciare con matita e righello il reticolato UTM, utilizzando le coordinate riportate ai vertici, oppure i trattini pertinenti a questo reticolato disegnati ai bordi della carta; successivamente posizioniamo con il sistema descritto sopra il punto.

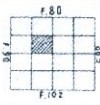
Se ci interessa utilizzare il reticolato chilometrico Gauss-Boaga, usualmente già riportato in carta, possiamo agire in uno di questi quattro modi:

- 1) Se disponiamo di un programma di calcolo adeguato, trasformeremo direttamente le nostre coordinate UTM in quelle nazionali del sistema Roma 1940. Teniamo presente che molti di questi programmi sono validi solo per aree ristrette, e possono fornire un errore fino a 6 metri.
- 2) Altrimenti possiamo utilizzare le tabelle correttive fornite dall'IGM, che nell'area del foglio a scala 1:100.000 garantiscono l'approssimazione al metro. Molte carte riportano ai margini i parametri correttivi Est e Nord per passare da un sistema all'altro. E' sicuramente il sistema più noioso, ma anche il più corretto.
- 3) Impostiamo sul nostro GPS questi parametri:

User Datum DA: -251
(Datum utente) DF: 0.14192702
 DX: -225
 DY: -65
 DZ: +9

User Grid Se siamo nella Zona 1 (a Ovest di Monte Mario)
(Reticolato utente) Long. Origine: 9°00.0
 Falso est: 1.500.000 m
 Scala: 0.9996
 Falso Nord: 0 m

 Se siamo nella Zona 2 (a Est di Monte Mario)
 Long. Origine: 15°00.0
 Falso est: 2.520.000 m
 Scala: 0.9996
 Falso Nord: 0 m



Certosa di Pesio

F° 91 della Carta d'Italia

CERTOSA DI PESIO

Le coordinate dei vertici di questa carta nel reticolato italiano (proiezione Gauss-Boaga, ellissoide internazionale, orientamento a M. Mario 1940) sono le seguenti:

FUSO OVEST

N. O. } E= 1386508	N. E. } E= 1396486
} N= 4900694	} N= 4900528
S. O. } E= 1386347	S. E. } E= 1396340
} N= 4691439	} N= 4891273



4° 49'



Fig. 8.1: esempio di tavoletta IGM

RETICOLATO CHILOMETRICO
NELLA PROIEZIONE CONFORME
UNIVERSALE TRASVERSA MERCATORE

Sistema U. T. M.

(Dati europei 1950)

ORIGINE DELLE COORDINATE :

Coordinate Est : il meridiano centrale del fuso con valore convenzionale + 500000 m

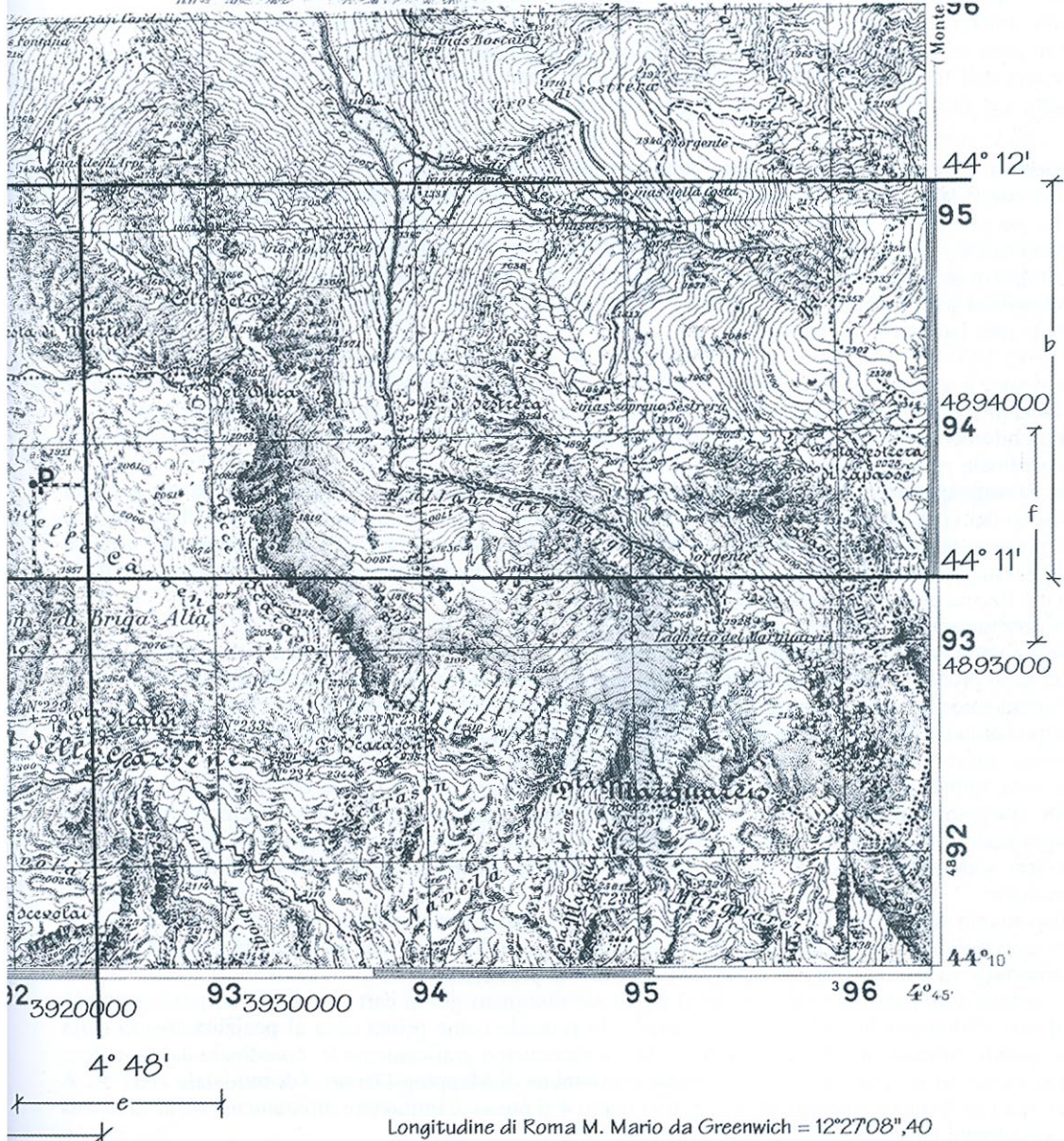
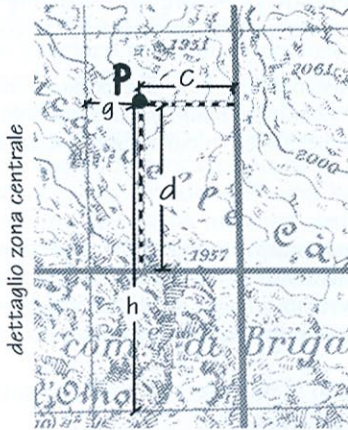
.. Nord : l'equatore.

La presente carta topografica appartiene alla

ZONA 32 T

ed ai quadrati di 100 km di lato

LQ:LP



Una volta inserite tutte queste cifre, ogni qual volta setteremo sul nostro ricevitore nel "Mapping Datum" "user" (utente) e nel sistema di coordinate user (utente), avremo come risposta direttamente le coordinate nel sistema Gauss-Boaga.

Le nostre esperienze hanno verificato errori di trasformazione abbastanza variabili, che possono sfiorare la decina di metri. Conviene preventivamente verificare a tavolino, utilizzando un punto di cui sono note entrambe le coordinate, ad esempio il vertice di una carta, quanto è l'errore per l'area in cui stiamo operando.

4) Alfine un trucco, da prendere con le pinze.

Una volta determinate, con un qualunque sistema, le coordinate, impostiamo come Mapping Datum "Roma 1940", mantenendo sempre il sistema di coordinate UTM. Otterremo direttamente le coordinate nel reticolato chilometrico Gauss-Boaga: nel settore Ovest avremo cura di attribuire alla prima cifra della longitudine il valore 1, anziché 0, mentre nel settore Est, attribuiremo alla prima cifra il valore 2 e dovremo sottrarre 20 km tondi tondi.

In genere la cosa è intuitiva e non pone problemi, perché quando si procede al posizionamento di una grotta lo speleologo conosce molto bene il quadrato di 1 km in cui opera.

Questo stratagemma non è stato ancora verificato adeguatamente per le varie aree italiane, per cui vi saremo grati se ci farete avere vostre osservazioni in proposito.

Nelle aree dell'Italia settentrionale in cui normalmente operiamo (Liguria, Piemonte, Lombardia, Friuli), abbiamo verificato errori che raramente oltrepassano 5-6 m.

7.2.2. Ricercare l'ingresso di una grotta conoscendone le coordinate

Per prima cosa occorre inserire le coordinate del punto da ricercare nel GPS; conviene ovviamente fare questo lavoro in un posto tranquillo, onde evitare imprecisioni. Se disponiamo di coordinate geografiche o UTM conformi al sistema ED 50 (tavolette IGM o CTR), è sufficiente selezionare sul GPS tale Mapping Datum, il tipo di coordinate di cui disponiamo e successivamente immettere nei punti di stazione (waypoint) le coordinate del punto; anche in questo caso, consigliamo di dare un nominativo ed eventualmente anche un simbolo, per facilitarne la ricerca.

Se la posizione è stata originariamente determinata su tavolette IGM utilizzando coordinate chilometriche UTM, facciamo attenzione a inserire anche la zona e le cifre piccole, scritte solo sui primi numeri del reticolato chilometrico, omettendo le due lettere identificate dal quadro di 100 Km. Ricordiamoci inoltre che le coordinate vanno immesse al metro.

Il problema sorge quando la posizione di un punto è stata determinata con sistemi di coordinate non presenti nell'archivio del GPS, o, peggio ancora, non presenti neppure sulla carta in nostro possesso. Tipicamente, questo evento si verifica quando una grotta è stata posizionata con le coordinate geografiche del sistema Roma 1940 (metodo raccomandato dal catasto nazionale SSI), e noi operiamo con una dettagliata CTR, in cui non c'è traccia di questo sistema. Che fare?

Ci sono varie possibilità:

- 1) Se disponiamo di un programma di calcolo che trasforma tra di loro i vari sistemi di coordinate, allora non ci sono problemi: immettiamo quelle in nostro possesso, le trasformiamo in UTM, e siamo a posto. Non scordiamoci che alcuni programmi si portano dietro un errore che può arrivare fino a 5 m.
- 2) Se disponiamo di una tavoletta IGM a scala 1:25.000, tracciamo a mano il reticolato geografico di primo in primo, utilizzando i tratti discontinui bianchi e neri posti al bordo della carta, posizioniamo il punto sulla carta, quindi passiamo a calcolare le rispettive coordinate chilometriche UTM. Il procedimento è meglio spiegato in appendice. Se abbiamo occhio di lince e non ci siamo sbagliati nelle trasformazioni sessagesimali, il nostro errore potrà essere compreso sotto i 15 m! Ma se stiamo sotto i 25 m, possiamo già essere soddisfatti. Possiamo ora finalmente immettere nel ricevitore GPS le coordinate UTM così determinate.
- 3) Se disponiamo della sola CTR preghiamo ardentemente che vi siano riportate, almeno ai vertici, le coordinate geografiche Gauss-Boaga. Altrimenti dovremo cercare di dedurle da una tavoletta a scala 1:25.000, e di riportarle su questa carta, con inevitabile perdita di precisione.

Una variante fortunata del caso 3 è che il punto sia disegnato già in carta, o che se ne posseggano le coordinate chilometriche nel sistema nazionale. Si procede come prima cosa al posizionamento sulla carta, quindi, costruito il solito reticolato UTM, si ricavano graficamente le coordinate da immettere nel ricevitore. In alternativa, se si conoscono i parametri di Mapping Datum e di reticolato (Par. 5.2.1 punto 3) o con il trucco riportato al successivo punto 4 si possono immettere direttamente nello strumento le coordinate Gauss-Boaga.

Non rimane ora che portarci nei pressi della grotta e iniziare a cercarla. Acceso il ricevitore GPS, attiviamo la funzione ricerca (GoTo), quindi posizioniamoci sul nome della grotta che già abbiamo memorizzato. Altri strumenti chiedono prima di evidenziare il nome dell'obiettivo cercato, quindi l'istruzione che vogliamo raggiungerlo. Si attiverà la funzione bussola e ci apparirà la direzione e la distanza a cui si trova la grotta; notiamo anche che la direzione indicata dalla bussola, finché stiamo fermi, è del tutto inaffidabile.

Ma appena ci metteremo in movimento, la bussola ci orienterà continuamente verso la direzione prefissata, mentre sul display appariranno anche la velocità di spostamento e la distanza che ci separa dal punto ricercato. I modelli di ricevitore GPS con bussola magnetica incorporata non soffrono di questo handicap, e anche da fermi la bussola indicherà sempre la direzione corretta. In questa fase, una cartina topografica potrà aiutare a evitare e aggirare gli ostacoli naturali (recinzioni, pareti, burroni...) che potremmo incontrare lungo il percorso; a una ventina di metri dall'obiettivo, il ricevitore GPS ci segnalerà con messaggi o suonerie varie che siamo arrivati in zona, e qui dovremo supplire allo strumento con la nostra testa e la nostra vista, in quanto la precisione nel posizionamento si limita a una decina di metri.

APPENDICE A:

Determinazione sulla carta delle coordinate di un punto

A completamento di questa dispensa, riteniamo utile richiamare le modalità operative di un'operazione fondamentale che chi utilizza il GPS si troverà a ripetere decine e decine di volte: come determinare le coordinate di un punto sulla carta topografica.

Il testo è ripreso, pressoché integralmente, dal quaderno didattico SSI n° 3: "Il rilievo delle grotte", curato da Chiara Silvestro.

Come già si intuiva nei paragrafi precedenti, le coordinate di un punto sulla carta sono di due tipi: geografiche e chilometriche. Le prime si esprimono in gradi, primi e secondi e indicano la latitudine e la longitudine; le seconde si esprimono in metri e indicano la distanza del meridiano e del parallelo del punto di interesse rispetto agli assi di riferimento.

Di seguito vengono fornite alcune indicazioni per leggere le coordinate di un punto P sulle tavolette IGM e sulle CTR.

Tavoletta 1:25.000.

Coordinate geografiche Gauss-Boaga

Al margine della carta, con barre bianche alternate a barre bianconere è indicata la suddivisione in primi, pari a 1/60 di grado.

A questa frazione di grado è quindi associato un segmento di lunghezza misurabile nota, ossia esiste una relazione (proporzione) tra i 60" di grado e i centimetri attraverso la carta (è la lunghezza del segmento bianco o nero).

Il punto ubicato sulla carta ha una certa distanza in centimetri rispetto al meridiano/parallelo a esso più vicino, misurabile con un righello (in sostanza si misura la distanza del punto P dalla retta verticale e orizzontale, tracciate a partire dalla suddivisione in centesimi di grado a bordo carta).

Con questi valori si imposta una proporzione, che fornisce i centesimi di grado da aggiungere (togliere) alle coordinate individuate dal meridiano e parallelo passanti in prossimità del punto P (Figura 8.1).

$$a = 53 \text{ mm} = 60''$$

$$c = 10 \text{ mm}$$

$$60'' : a = P_x : c$$

$$60'' : 53 = P_x : 1$$

$$P_x = 60'' \cdot 1/53 = 11.3''$$

da cui:

$$\lambda_p = 40^\circ 48' 11.3''$$

Analogamente si procede per la determinazione della latitudine:

$$b = 74 \text{ mm} = 60''$$

$$d = 18 \text{ mm}$$

REGIONE PIEMONTE

SERVIZIO CARTOGRAFICO

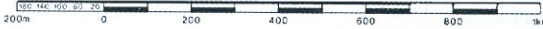
CTR

CARTA TECNICA REGIONALE

SEZIONE N° **244010**

PUNTA MARGUAREIS

Scala 1 : 10 000



L'equidistanza tra le curve di livello è di m 10 (per le curve di livello egualitarie, a tratti, è di m 5)
L'altimetria, espressa in metri, è riferita al livello medio del mare (Mareografo di Genova)

riproduzione non in scala: ridotta all'80% dell'originale

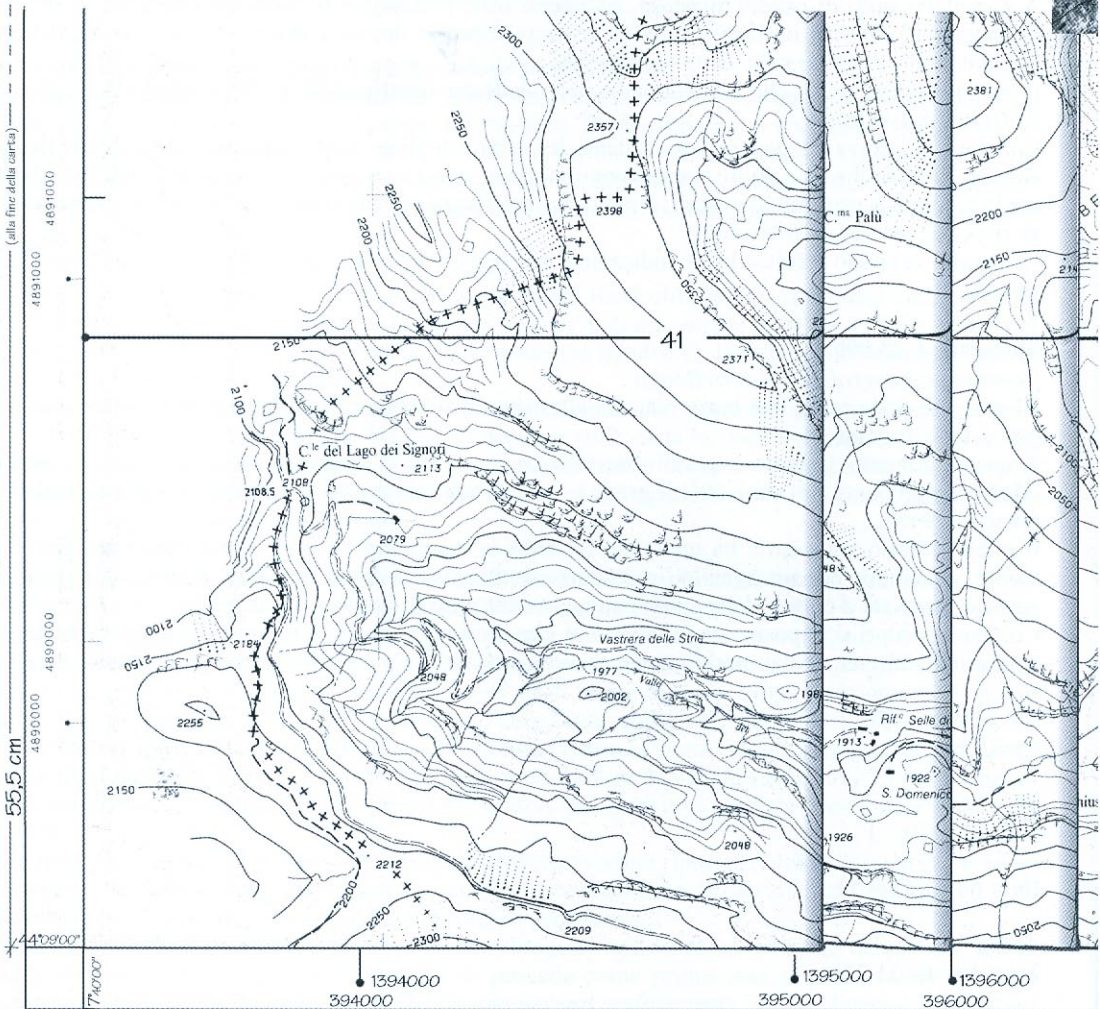


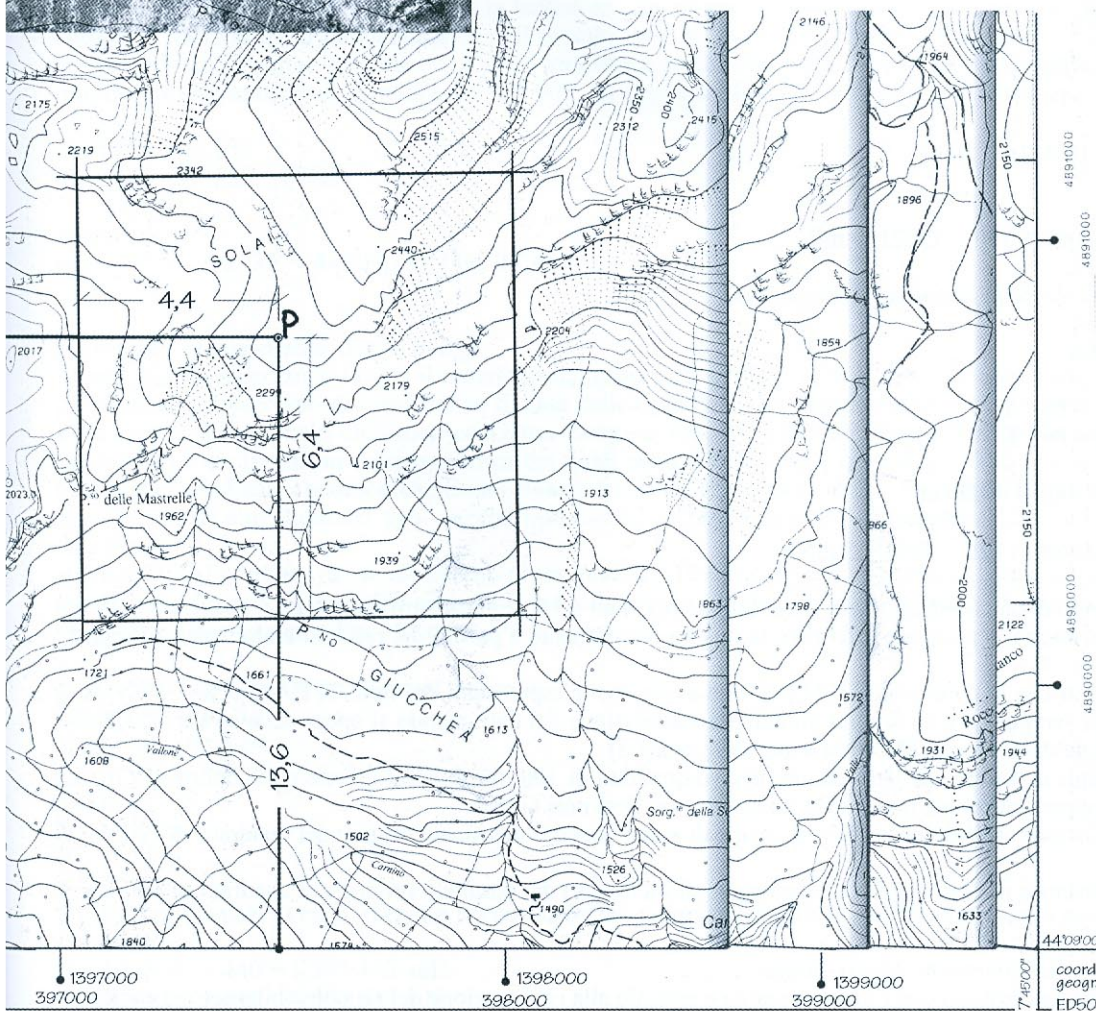
Fig. 8.2: esempio di carta tecnica regionale



COORDINATE DEI VERTICI DELLA SEZIONE						
VERT.	GEOGRAFICHE		GAUSS-BOAGA		U.T.M.	
	LATIT.	LONGIT.	E	N.	E	N.
NO	44° 12' 00"	7° 40' 00"	1393402	4894859	393456	4895041
NE	44° 12' 00"	7° 45' 00"	1400061	4894755	400115	4894936
SO	44° 09' 00"	7° 40' 00"	1393312	4889306	393366	4889487
SE	44° 09' 00"	7° 45' 00"	1399977	4889201	400030	4889383

I vertici sono definiti in coordinate geografiche ED 1950. Il reticolato Gauss-Boaga è riferito al Fuso Ovest. Il reticolato U.T.M. è riferito al Fuso 32 ed indicato al margine col segno convenzionale Δ .
 Trasformazione da coordinate Gauss-Boaga a sistema U.T.M.: $\Delta E : -999946$
 $\Delta N : 182$

SITUAZIONE C.T.R. 110.000 E I.G.M. 1:25.000			SITUAZIONE 150.000 I.G.M.		
91 IV SE 226160	227130	91 I SO 227140	225 CUNEO	227 MONDOVI	228 CARO MONTENOTTE
243040	244010	244020	243 COLLE DI TENDA	244 ORMEA	245 ALBENGA
243080	244050	244060	257 DOLCEACQUA	258 SANREMO	259 IMPERIA
91 III NE		91 II NO			



66.4 cm

$$60'' : b = P_y : d$$

$$60'' : 74 = P_y : 18$$

$$P_y = 60'' \cdot 18/74 = 14.6''$$

da cui:

$$\phi_p = 44^\circ 11' 14.6''$$

Due le cose da tenere presenti: nelle regioni orientali rispetto a Monte Mario, le coordinate incrementano verso Est (destra della carta), mentre in quelle occidentali incrementano in direzione Ovest (sulla carta, da destra verso sinistra). Tracciare in matita il reticolato geografico, trascrivendone in corrispondenza il valore in primi, vi aiuterà a gestire con maggiore sicurezza queste misure.

Coordinate chilometriche UTM

La quadrettatura stampata sulla carta ha un passo costante di 4 cm, cioè di 1000 m sul terreno. Il reticolato è quello UTM. In basso a sinistra si legge una tabellina nella quale sono riportate le coordinate chilometriche dei vertici della carta, da cui si risale alle coordinate dei quattro vertici del quadrato 4 cm x 4 cm in cui ricade il punto da localizzare. Con una proporzione analoga alla precedente, dove però al posto dei centesimi di grado ci sono centimetri e metri, si ricavano le coordinate del punto (Figura 8.1).

$$e = 40 \text{ mm}$$

$$g = 6 \text{ mm}$$

$$1000 : e = P_o : g$$

$$1000 : 4 = P_o : 6$$

$$P_o = 6 \cdot 1000/4 = 150 \text{ m}$$

per cui:

$$\lambda_p = 1392000 + 150 = 1392150 \text{ mE}$$

Per il calcolo della latitudine analogamente:

$$f = 40 \text{ mm}$$

$$h = 33 \text{ mm}$$

$$1000 : f = P_v : h$$

$$1000 : 4 = P_v : 33$$

$$P_v = 33 \cdot 1000/4 = 825 \text{ m}$$

per cui:

$$\phi_p = 4893000 + 825 = 4893825 \text{ mN}$$

Disponendo di un coordinatometro, usualmente riportato sul margine destro della carta o acquistabile in una buona cartoleria, è possibile effettuare la misura direttamente a partire dal reticolo chilometrico disegnato sulla carta.

Ricordiamo che le coordinate UTM possono avere anche espressioni del tipo: 32T MQ XXxx YYyy, che servono a semplificare, in ambito militare, la trasmissione dei dati quando si opera nella stessa area, ove:

32 T : sigla della zona UTM (frequentemente omessa)

MQ: coppia di lettere che delimita un preciso quadrato di 100 km di lato (dizione obbligatoria per questo tipo di rappresentazione, ma da non immettere nei ricevitori GPS)

XXxx: distanza in chilometri (XX) e decine di metri (xx) dal meridiano origine del quadrato di 100 km di lato

YYyy: distanza in chilometri (YY) e decine di metri (yy) dal parallelo origine del quadrato di 100 km di lato.

Coordinate chilometriche Gauss-Boaga

Si procede innanzitutto con l'aiuto di matita e righello alla ricostruzione del reticolo chilometrico confacente, visualizzato ai bordi della carta con tratti —● o —<. Aiutandosi con i valori tabellati al margine inferiore sinistro, si attribuiscono i valori in chilometri spettanti a ciascuna linea del reticolo.

Si procede poi analogamente al caso delle coordinate chilometriche UTM.

CTR 1: 10.000 E 1: 5.000.

Coordinate geografiche UTM.

Il procedimento è analogo al precedente. Occorre tenere presente che il reticolo stampato sulla carta non coincide con le coordinate lette a bordo carta, perché appartengono a due sistemi di riferimento diversi. Prendendo come base per l'esempio la CTR del Piemonte, le coordinate geografiche UTM sono indicate solo sui quattro vertici della sezione. Si procede come indicato nel seguito. Si misura la lunghezza del lato orizzontale della carta, quello compreso tra i due vertici a cui si riferiscono le misure in gradi. Per la sezione indicata in figura questo segmento è lungo 664 mm. In questo intervallo di millimetri si passa da $7^{\circ} 40' 00''$ a $7^{\circ} 45' 00''$, ossia $5'$ di grado corrispondono a 664 mm.

Dal punto P si tracciano sempre le due rette: una verticale e l'altra orizzontale. La retta verticale incontra l'asse orizzontale della carta a 410 mm dal vertice in basso a sinistra di longitudine nota $7^{\circ} 40' 00''$. Impostando la seguente proporzione si fa corrispondere a detta misura un valore in primi:

$$5' : 664 = X_p : 410 \\ X_p = 410 \cdot 5' / 664 = 3,087'$$

da cui:

$$\lambda_p = 7^{\circ} 40' + 3,087 = 7^{\circ} 43,087 \text{ (} 7^{\circ} 43' 05,2'' \text{)}$$

In modo del tutto analogo si determina la latitudine. Si misura la lunghezza del lato verticale della carta compreso tra i vertici di latitudine nota, nell'esempio $44^{\circ} 09' 00''$ e $44^{\circ} 12' 00''$. A questi $3'$ di differenza corrispondono 555 mm. La retta orizzontale tracciata a partire dal punto P incontra l'asse verticale a 136 mm rispetto al parallelo di latitudine $44^{\circ} 09' 00''$. Si imposta allora la seguente proporzione:

$$3' : 555 = Y_p : 136 \\ Y_p = 136 \cdot 3' / 555 = 0,735'$$

da cui:

$$\phi_p = 44^{\circ} 09' + 0,735' = 44^{\circ} 09,735' \text{ (} 44^{\circ} 09' 44,1'' \text{)}$$

Coordinate chilometriche Gauss Boaga

Si reperiscono utilizzando invece il reticolato stampato sulla carta. Facendo sempre riferimento alla CTR piemontese, si osservano disseminate su di essa delle crocette. Esse rappresentano i punti di intersezione della maglia del reticolo chilometrico Gauss-Boaga e sono equidistanti 10 cm. Sul bordo carta sono individuabili dei trattini in corrispondenza dei quali sono indicate delle cifre dell'ordine dei milioni. Si tratta delle coordinate chilometriche Gauss-Boaga del reticolo appena descritto. Poco distante dai precedenti, sono visibili altri segni del tipo \bullet , che indicano la traccia del reticolo chilometrico UTM e le relative coordinate.

Il punto P dell'esempio ricade all'interno di un quadrato 10 cm x 10 cm i cui vertici hanno le coordinate indicate in Figura 8.2. Le solite rette da P individuano sui lati del quadrato del reticolo due segmenti di lunghezza: $P_o = 44$ mm e $P_v = 64$ mm.

Si possono impostare le proporzioni seguenti:

$$1000 : 10 = P_o : 44$$

$$1000 : 10 = P_v : 64$$

da cui

$$P_o = 440 \text{ m}$$

$$P_v = 640 \text{ m}$$

Questi sono i valori di cui aumentare le coordinate dei vertici del quadrato, per determinare la posizione di P. Sarà quindi:

$$P = 1397000 + 440 = 1.397.440 \text{ mE}$$

$$P = 4890000 + 640 = 4.890.640 \text{ mN}$$

Coordinate chilometriche VTM

Ovviamente le coordinate chilometriche ottenute così come descritto sopra sono quelle del sistema Roma

40; per passare alle UTM basta utilizzare le costanti di conversione indicate a margine carta. In alternativa, molte carte riportano al bordo i riferimenti (\leftarrow o \bullet) del reticolato chilometrico UTM, attraverso cui risulta possibile ricostruire e quindi ricavare con una procedura analoga le coordinate nel sistema UTM. In entrambi i casi, l'uso di un coordinatometro faciliterà le misure.

APPENDICE B: GALILEO

Proprio al termine dello scorso millennio, la comunità europea ha formalmente dato il via alla realizzazione di GALILEO, un nuovo sistema di posizionamento globale integrativo del GPS/NAVSTAR e del GLONASS. La realizzazione di GALILEO sarà suddivisa in due fasi principali.

La prima, denominata EGNOS e implementata dal 2001 al 2005, prevede la messa in orbita di alcuni satelliti geostazionari in grado di monitorare le prestazioni dei sistemi GPS/GLONASS e di fornire indicazioni sulla qualità dei posizionamenti eseguiti dall'utente, segnalando eventuali malfunzionamenti.

La seconda, che prenderà avvio durante gli anni 2006 e 2007 con lo spiegamento completo della nuova costellazione di satelliti, sarà definitivamente operativa a partire dal 2008.

Ma che vantaggi ci darà usare GALILEO? Innanzi tutto la comunità europea ha preso accordi con gli enti che gestiscono i sistemi di posizionamento già esistenti, per fare in modo che l'uso del nuovo sistema non sia in competizione con i precedenti, ma una collaborazione capace di apportare miglioramenti.

Così facendo, a prescindere dalla qualità del segnale, sarà possibile avere a disposizione dei futuri ricevitori una copertura di satelliti molto maggiore (GALILEO/GPS/GLONASS): ad esempio, saremo in grado di posizionare correttamente le nostre auto anche fra le vie più strette delle città, senza rischio di perdere continuamente il segnale.

In realtà le prestazioni del nuovo sistema saranno decisamente elevate, tanto da indurre il gruppo di studio che lo ha progettato a suddividere in tre categorie il tipo di servizio disponibile agli utenti.

Il servizio di interesse generale sarà gratuito e di libero accesso, esattamente come il GPS americano e consentirà di ottenere precisioni migliori di quelle attuali; il servizio commerciale avrà prestazioni ancora migliori e sarà fornito a pagamento ad utenti professionali (in alcuni particolari settori quali la geodesia, il sincronismo delle reti, i pedaggi stradali, l'aviazione civile...); il servizio di interesse pubblico sarà accessibile solo a enti e organismi di coordinamento e di utilità generale, ed avrà una precisione planare di qualche decina di centimetri.

Fase di sviluppo e di convalida (2001-2005)

- Definizione dettagliata dei segmenti (spaziale, terrestre, utenza);
- Sviluppo di satelliti, componenti terrestri;
- Convalida "in orbita" del sistema.

Fase di spiegamento (2006-2007)

- Fabbricazione, lancio di satelliti;
- Realizzazione del segmento completo a terra.

Fase operativa (dal 2008)

- Sostituzione dei satelliti
- Funzionamento dei Centri
- Manutenzione.

Tabella A1: riassunto dei tempi di realizzazione previsti per il sistema.

Lo stesso sistema prevede una certa interattività con l'utente, ed una molteplicità di servizi aggiunti, prevedendo tra l'altro l'integrazione con le reti GSM e UTMS.

Tanto per dare una idea del costo che avrà la realizzazione di questo sistema, basta pensare che la spesa prevista per la fase di sviluppo e di convalida ammonta a 1,1 miliardi di € per l'infrastruttura e a 150 milioni di € per lo spiegamento degli elementi locali e lo sviluppo delle applicazioni e dei ricevitori, mentre per la

fase di spiegamento (2006-2007), i costi da sostenere sono stimati in 2,1 miliardi di € di cui 1,5 miliardi di € a carico del settore privato e 0,6 miliardi di € a carico del settore pubblico.

Una cosa è sicura: dal 2008 sentiremo parlare spesso di GALILEO e soprattutto non lo utilizzeremo solo per posizionare gli imbocchi delle grotte, vista la molteplicità di applicazioni in cui sarà protagonista. Però alcune delle nuove caratteristiche con cui il sistema è stato progettato sembrano presagire importanti novità anche per quello che ci riguarda. Non resta che avere un po' di pazienza...

GLOSSARIO DEI TERMINI TECNICI

- CTR* Cartografia Tecnica Regionale. Serie di cartografie a scala 1:10.000 e 1:5.000 edita dalle varie amministrazioni regionali
- Coordinate* Coppia di numeri che permette di individuare inequivocabilmente un qualsiasi punto della superficie terrestre. Usualmente rappresentano la distanza da un meridiano e da un parallelo di riferimento: possono venire espresse in gradi (coordinate geografiche) o in metri (coordinate chilometriche).
- DoD* È l'acronimo di Department of Defence, ovvero il Dipartimento della Difesa statunitense.
- ED 50* European Datum 1950. Sistema che unifica varie reti geodetiche nazionali, adottato nel 1950 da varie nazioni europee, tra cui l'Italia. I riferimenti per la determinazione delle coordinate, sono il meridiano di Greenwich e l'Equatore.
- Effemeridi* Termine con cui si indicano le traiettorie orbitali descritte dai satelliti.
- EGNOS* È il progetto di potenziamento del GPS tradizionale organizzato dall'Unione Europea, nell'attesa dell'avvio del nuovo sistema di GPS europeo, GALILEO.
- Elemento* Carta Tecnica Regionale a scala 1:5.000.
- Ellissoide* Modello cartografico di rappresentazione della superficie terrestre.
- FOM* È l'acronimo di figura di merito, un valore che indica il raggio di un ipotetico cerchio in cui cade il 66 % dei punti determinati durante una acquisizione.
- GALILEO* È il progetto di GPS europeo che prenderà vita in questi anni e che sarà definitivamente operativo a partire dal 2008.
- Roma 1940* Rappresentazione cui si rifà la cartografia ufficiale italiana, con origine Monte Mario (Roma). Il meridiano passante per Monte Mario e l'Equatore sono i riferimenti per la determinazione delle coordinate in questo sistema.
- GDoP* È l'acronimo di Geometric Dilution of Precision, cioè un indice con cui viene misurata l'attendibilità di un posizionamento in base alla posizione geometrica dei satelliti utilizzati.
- Geoide* Complesso modello di rappresentazione della superficie terrestre.
- GLONASS* Sistema di posizionamento satellitare concepito dal Governo russo, simile al GPS, fornisce anch'esso, informazioni di posizione e di tempo.
- GPS* Acronimo di Global Positioning System, ovvero un sistema di posizionamento globale elettronico, costituito da una costellazione di 24 satelliti orbitanti intorno al nostro pianeta e da alcune stazioni di controllo a terra.
- GSNN* Sistema europeo che utilizza contemporaneamente il GPS e il GLONASS per ottenere un posizionamento particolarmente preciso.
- HDOP* È l'acronimo di Horizontal Dilution of Precision, cioè un indice con cui viene misurata l'attendibilità di un posizionamento in base alla posizione geometrica dei satelliti utilizzati, lungo la proiezione planare.
- IGM* Istituto Geografico Militare con sede a Firenze. Edita la cartografia ufficiale militare italiana, ma molte delle sue carte sono disponibili anche per uso civile. Ha creato e gestisce la rete geodetica italiana.

<i>Mapping Datum</i>	Rappresentazioni del geoide terrestre; sono utilizzati per rappresentare in forma digitalizzata il nostro pianeta.
<i>Multipath</i>	Termine che indica un errore in ricezione, molto insidioso da individuare, dovuto al riflettersi delle onde elettromagnetiche emesse dai satelliti su oggetti ubicati nei pressi di chi riceve.
<i>NAVSTAR</i>	Sigla che rappresenta il sistema di posizionamento progenitore del GPS.
<i>NIMA</i>	National Imagery Mapping Agency; ente americano per le scienze geospaziali, che tra l'altro rende disponibili, tramite il suo sito internet, informazioni e dati sul sistema GPS, sul geoide WGS 84 e le correlazioni tra il geoide WGS 84 e altri sistemi cartografici.
<i>Palmare</i>	È il sinonimo di ricevitore portatile, ovvero il piccolo strumento elettronico, grosso modo della grandezza e della forma di un telefono cellulare, utilizzato per ricavare la posizione ad opera di un qualsiasi utente.
<i>Pseudo-Codice</i>	Particolare codice con cui viene modulata l'onda elettromagnetica inviata dai satelliti e ricalcolata a terra dai ricevitori, utile nel calcolo della posizione per mezzo di congetture geometriche e fisiche.
<i>S/A</i>	Sigla che indica la Selective Availability, ovvero la disponibilità selettiva, un indice di bontà del livello di corruzione artificiale del segnale di GPS imposto dal Governo americano per scopi militari. Attualmente è posto al livello minimo (disabilitato).
<i>SV</i>	Acronimo di Space Vehicle, ovvero veicolo spaziale, si riferisce nel nostro caso ai satelliti emettitori di segnali GPS.
<i>Sezione</i>	Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000. Esistono anche (rare) sezioni editate dall'IGM.
<i>Tavoletta</i>	Carta topografica a scala 1:25.000 edita dall'IGM.
<i>UTM</i>	Rappresentazione che si rifà alla proiezione Universale Trasversale di Mercatore. Utilizza un sistema di coordinate chilometriche impiegato in campo militare, adottato anche dal sistema ED 50, molto semplice da usare.
<i>VDoP</i>	È l'acronimo di Vertical Dilution of Precision, cioè un indice con cui viene misurata l'attendibilità di un posizionamento in base alla posizione geometrica dei satelliti utilizzati, lungo l'asse verticale.
<i>WGS 84</i>	World Geografic System. Geoide utilizzato dai ricevitori GPS che fanno capo alla rete per determinare la posizione di un punto sulla superficie terrestre.

BIBLIOGRAFIA E LINKS UTILI

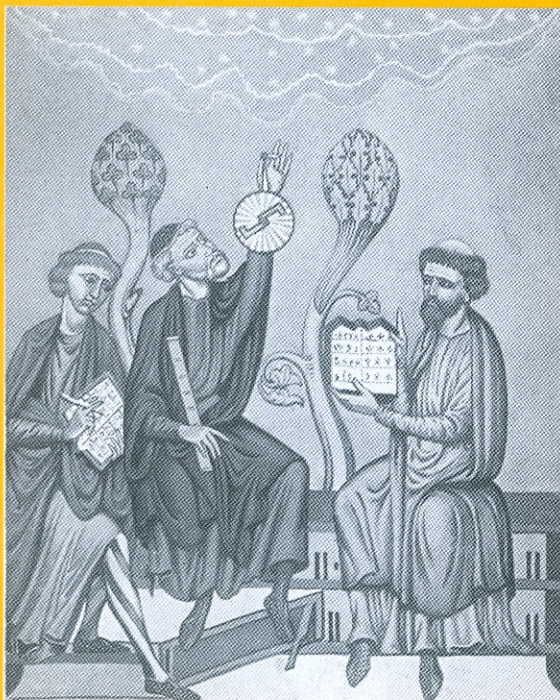
- TRIMBLE NAVIGATION - *GPS. A guide to the next utility*, USA 1992.
- F. BAGLIANI, M.COMAR, F. GHERBAZ, G.NUSSDORFER - *Manuale di rilievo ipogeo*, Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, 1992
- P.H. DANA – *Global Positioning System, Overview*, 1994.
- F. SICCARDI, A. VERRINI - *Utilizzo del GPS nel posizionamento speleologico, un approccio generale ed alcune considerazioni preliminari*, Stalattiti e Stalagmiti n.19, bollettino del Gruppo Speleologico Savonese, 1994.
- TRIMBLE NAVIGATION - *GPS. Surveyor's field guide*, USA 1995.
- F. SICCARDI, A. VERRINI - *Utilizzo del GPS nel posizionamento speleologico, novità e prospettive*, Stalattiti e Stalagmiti n.21, bollettino del Gruppo Speleologico Savonese, 1996.
- G. BADINO - *Satellitare: caratteristiche ed uso*, Progressione n. 33, 1997.
- C. SILVESTRO - *Il Rilievo delle grotte, Quaderni didattici SSI*, AGSP-SSI, 1999.
- <http://www.gpsworld.com/>
Informazioni generali sul sistema GPS, ditte costruttrici, ricevitori, futuri sviluppi del GPS, vari links sul GPS.
- <http://www.navcen.uscg.mil/>
Il sito WEB ufficiale dell'USCG Navigation Center. È il punto di partenza per raggiungere molte informazioni tecniche sul GPS e sui satelliti.
Da visitare assolutamente.
- <http://www.nima.mil/GandG/GandG.html>
Sito del National Imagery Mapping Agency (NIMA), con dati sul sistema GPS, sul geoide WGS 84 e le correlazioni tra il geoide WGS 84 e altri ellissoidi.
- <http://www.esrin.esa.it>
Sito dell'European Space Agency
- <http://europa.eu.int/index-en.htm>
Sito dell'Unione Europea
- <http://www.galileo-pgm.org/>
Sito del centro di programmazione di Galileo
- <http://www.rssi.ru/SFCSIC/english.html>
Sito del centro di programmazione di GLONASS
- http://www.civil.ist.utl.pt/~snig/gps_data/docs/gps.html
La stazione è installata a Lisbona, sono mantenuti online i files degli ultimi 2 mesi (24 files al giorno per sette giorni alla settimana). La selezione dei files, fatta per giorno e mese, crea automaticamente una pagina con i 24 files (zippati) del giorno richiesto.
- <http://www.nmaa.org/navtech.com/index.html>
Navtech, firma tra le pioniere del GPS, fondata nel 1984 come Navigation Technology Seminars Inc. da Keith and Carolyn McDonald, con lo scopo primario della formazione e dell'impiego operativo del GPS. È probabilmente uno dei siti fondamentali per l'approccio al GPS, il catalogo 1946 arrivato fresco di stampa, propone nella prima metà, circa 26 pagine con grafica accurata e caratteristiche tecniche puntuali, di strumentazione GPS, software e sistemi, oltre ad una accurata proposta di circa 70 titoli librari. L'altra metà del catalogo propone invece gli ormai famosi seminari Navtech, con circa 13 corsi ripetuti per tre volte nel corso dell'anno. La lettura del catalogo dà l'idea di quanto ormai sia esteso il settore delle applicazioni GPS.
- <http://www.host.cc.utexas.edu/ftp/pub/grg/gcraft/notes/gps/gps.html>
The Global Positioning System (GPS) è il sito con informazioni generali e correlate al GPS, parte del Geographer's Craft, Dipartimento di Geografia dell'Università di Austin - Texas. Estremamente interessante per tutte le informazioni oltre quelle sul GPS.
- <http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.html>
Buoni materiali per l'autoistruzione sul sistema GPS.



È ormai passato più di un quarto di secolo da quando, con il Manuale di Speleologia, edito dalla Longanesi, la speleologia italiana tentò di darsi un testo di riferimento complessivo sulla speleologia, intesa nei suoi vari aspetti di "discorso sul mondo sotterraneo". Da allora le numerose scuole di speleologia in Italia hanno avvicinato al mondo delle grotte molte decine di migliaia di persone ma, stranamente, senza riprendere il progetto di dare un ausilio didattico completo a chi realizzava e seguiva i corsi.

In passato la Società Speleologica Italiana ha provveduto a coprire il settore più critico, quello delle tecniche di progressione sicura in grotta, con una serie di testi ma gran parte degli altri argomenti rimanevano totalmente scoperti.

Un paio d'anni fa il Direttivo ha deciso di rimettere mano al progetto, articolandolo in una serie completa di Quaderni Didattici. Lo scopo, naturalmente, era quello di fornire manualistica ai corsi tenuti dalla Commissione Nazionale Scuole di Speleologia della SSI, ma strada facendo ci siamo accorti che, più ambiziosamente, potevamo cercare di dare un'informazione dettagliata sul mondo delle grotte anche ad un pubblico ben più vasto, trattandone tutti gli aspetti: Geomorfologia e Speleogenesi, Rilievo, Speleologia in Cavità Artificiali, Impatto dell'Uomo sull'Ambiente, Tecniche di Base, Storia della Speleologia, Geologia per Speleologi, Clima, Reazioni a Emergenze, Primo Soccorso, Idrogeologia Carsica, Immagini, Documentazione, Organizzazione della Speleologia, Grandi Grotte del Mondo, Vita nelle Grotte, Depositi chimici, Riempimenti e altri in progetto. Siamo sicuri che questa iniziativa sarà un passo importantissimo per una migliore conoscenza del mondo sotterraneo.



*Osservazione del cielo
con strumenti primitivi
nel sec. XIII (da Lacroix)*



REGIONE
PIEMONTE
Associazione
Gruppi
Speleologici
Piemontesi

Società Speleologica Italiana

QUADERNI DIDATTICI

CLUB ALPINO ITALIANO



Con il patrocinio della
Commissione Centrale per la Speleologia

Erga edizioni

9



GIAN DOMENICO CELLA FABIO SICCARDI ALBERTO VERRINI

L'UTILIZZO DEL GPS IN SPELEOLOGIA

QUADERNI DIDATTICI della
Società Speleologica Italiana

Coordinamento editoriale:

Giovanni Badino, Carlo Balbiano, Natalino Russo

Per entrare in contatto con gli Autori rivolgersi
alla Società Speleologica Italiana

© Società Speleologica Italiana
Via A. Zamboni, 67 - 40127 Bologna
www.ssi.speleo.it

Si fa espresso divieto di riprodurre in qualsiasi
maniera, anche parzialmente,
il contenuto dei Quaderni.

Edizione riservata
realizzata nel mese di ottobre 2001 da
ERGA EDIZIONI
Via Biga 52 r. - 16144 Genova
Tel. 010.8328441 - Fax 010.8328799
www.erga.it

*Quaderni didattici della
Società Speleologica Italiana*

- 1 Geomorfologia e speleogenesi carsica**
Leonardo Piccini
- 2 Tecnica speleologica**
Angelo De Marzo, Giuseppe Savino
- 3 Il rilievo delle grotte**
Chiara Silvestro
- 4 Speleologia in cavità artificiali**
Giulio Cappa
- 5 L'impatto dell'uomo sull'ambiente di grotta**
*Mauro Chiesi, Gianluca Ferrini,
Giovanni Badino*
- 6 Geologia per speleologi**
Valentina Malcapì, Leonardo Piccini
- 7 I depositi chimici delle grotte**
Paolo Forti
- 8 Meteorologia ipogea**
Carlo Balbiano
- 9 L'utilizzo del GPS in speleologia**
*Gian Domenico Cella, Fabio Siccardi,
Alberto Verrini*
- 10 La vita nelle grotte**
Marco Bani
- 11 Storia della Speleologia**
Lamberto Laureti
- 12 Gli acquiferi carsici**
*Bartolomeo Vigna,
con un contributo di Gilberto Calandri*

QUADERNI DIDATTICI
DELLA
SOCIETÀ SPELEOLOGICA ITALIANA

9

Gian Domenico Cella, Fabio Siccardi, Alberto Verrini
L'UTILIZZO DEL GPS IN SPELEOLOGIA

REGIONE PIEMONTE

ASSOCIAZIONE GRUPPI SPELEOLOGICI PIEMONTESI

Erga  *edizioni*

INTRODUZIONE

Ancora un contributo scientifico e letterario va ad arricchire la preziosa e prolifica collaborazione che lega la speleologia piemontese con l'Amministrazione Regionale.

L'Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi e la Regione Piemonte, nel quadro di una fattiva intesa che dura ormai da due decenni sullo sviluppo delle conoscenze e la gestione del fenomeno carsico, hanno contribuito ad una pubblicazione che esce dalle logiche locali e permette di approfondire aspetti che fino a pochi anni fa ci sembrano inavvicinabili.

La Regione Piemonte ha visto e vede ora più che mai, con estremo piacere, lo svilupparsi e la crescita di una cultura speleologica che vive e si sviluppa con una particolare attenzione all'ambiente carsico e soprattutto alla sua interdipendenza con le comunità che vivono sul territorio. Con vivo piacere ci congratuliamo con gli autori, che in modo rigoroso e scientifico, ci permettono di aggiungere un altro tassello al fantastico mosaico della speleologia.

Assessore all'Ambiente ed ai Parchi
Ugo CAVALLERA

Assessore alla Cultura ed ai Parchi
Giampiero LEO

Il volumetto che avete tra le mani nasce nel quadro della collaborazione più che decennale che la speleologia piemontese, raccolta nella Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi, ha creato e rafforzato con la Regione Piemonte. Anche in questo caso, come per il volumetto su "Il rilievo delle grotte" l'amministrazione regionale ha contribuito alla realizzazione di un quaderno didattico dal respiro profondo, che ci permette di avere una visione diversa, di guardare un po' più lontano nel difficile mondo della speleologia.

Innanzitutto vanno fatti i complimenti agli autori che, come sempre, precisi ed attenti, hanno provato e sperimentato quello che ci raccontano per un lungo periodo dando una credibilità molto elevata al loro lavoro scientifico. Inoltre lo sviluppo, per così dire, di nuove tecnologie ci permette anche di affrontare in modo diverso lo sviluppo delle conoscenze sul fenomeno carsico: mi riferisco in particolare al sistematico posizionamento di precisione delle cavità che stiamo organizzando sul territorio regionale ed in particolare sul massiccio del Marguareis. Questa operazione conduce a risultati stupefacenti: prima di tutto a correggere noi stessi ed i posizionamenti, sempre difficili, realizzati nei decenni precedenti, ma soprattutto ad aiutarci a vedere in tre dimensioni, con lo studio delle correnti d'aria delle cavità e buchi soffiati, l'andamento dei sistemi carsici.

Un nuovo modo di vedere sembra dunque possibile. Speriamo che questa esperienza possa contribuire, anche in altre realtà, a sviluppare nuovi modi di studiare il fenomeno carsico e credo che i Quaderni Didattici della Società Speleologica Italiana sia il luogo giusto dove comunicare queste riflessioni ed esperienze.

Attilio EUSEBIO
Presidente AGSP

Ringraziamenti

Fra tutti quelli che hanno dato una mano alla realizzazione di questa dispensa, vogliamo ringraziare innanzi tutto il Gruppo Grotte CAI Novara per il supporto fornito.

Poi un particolare grazie va a Chiara Silvestro, per averci permesso di estrarre e rielaborare alcuni brani della sua dispensa sul "Rilievo delle grotte".

Un doveroso ringraziamento va anche al Comandante Borsa e alla Direzione dell'Istituto Idrografico della Marina di Genova, che con infinita pazienza ci hanno ospitato, consentendoci di visitare il loro fornitissimo museo di strumentazione per la navigazione marina.

Non vogliamo neppure dimenticare gli amici Giovanni Badino, Roberto Maugeri e Giulio Cappa, che hanno speso un po' del loro tempo per fornirci suggerimenti e correzioni.

Infine un saluto affettuoso a Maria, Tatiana e Vittoria per l'aiuto, la disponibilità e la pazienza dimostrate durante la sua stesura.

1. SCOPO DELLA DISPENSA	pag. 7
2. GENERALITÀ SUL SISTEMA	7
2.1 Cos'è il GPS	7
2.2 Breve storia del GPS	7
2.3 Vari utilizzi del sistema di GPS	7
2.4 Come funziona il GPS	9
2.4.1 Principi per la determinazione di un punto nello spazio	9
2.4.2 Fonti di errore nel sistema	11
3. GENERALITÀ SUI RICEVITORI	14
3.1 Tipi di ricevitori GPS: singoli e differenziali, nuove prospettive	14
3.2 Principali funzioni disponibili sui ricevitori	17
4. PREPARAZIONE DEL PALMARE E LIMITAZIONI DI UTILIZZO	17
4.1 Indici di precisione “importanti”	17
4.2 Utilizzo di filtri statici (filtri di media)	18
4.3 Il decalogo del buonsenso	19
5. I RICEVITORI E LA CARTOGRAFIA	22
5.1 I ricevitori GPS e la cartografia terrestre	22
5.1.1 La cartografia in uso in Italia	23
5.1.2 Le coordinate in uso in Italia	25
6. APPLICAZIONI IN CAMPO SPELEOLOGICO	27
6.1 Errori del metodo	27
6.1.1 Errori dell'operatore in fase di acquisizione dei dati	28
6.1.2 Errori di sistema	29
6.2 Utilizzo dei dati in campo speleologico	29
7. ESERCIZI	
7.1 Setup del ricevitore GPS	31
7.2 Posizionare e memorizzare un punto	32
7.2.1 Riportare su una cartografia IGM e CTR le coordinate memorizzate nel corso di una uscita	33
7.2.2 Ricercare l'ingresso di una grotta conoscendone le coordinate	36
APPENDICE A: determinazione sulla carta delle coordinate di un punto	37
APPENDICE B: GALILEO	40
GLOSSARIO DEI TERMINI TECNICI	43
BIBLIOGRAFIA E LINKS UTILI	46

1. SCOPO DELLA DISPENSA

Molti speleologi da anni seguono con interesse i continui progressi nel campo delle tecniche di posizionamento satellitare.

I tempi sono maturati, ed ora sono disponibili strumenti palmari, del peso di pochi grammi, di costo limitato e quindi accessibili a ogni speleologo, in grado di effettuare in pochi minuti posizionamenti con un errore inferiore alla decina di metri. Questo grado di precisione era impensabile per questo tipo di strumenti fino a qualche anno fa.

Questo significa che, nel corso di una escursione, oggi è possibile localizzare e trasmettere anche ad altri, senza neppure disporre della carta topografica, le coordinate di un punto che ci interessa. E di ritrovarlo, o di farlo ritrovare, a distanza di anni.

Forse potremo mettere nel dimenticatoio le lunghe battute necessarie per trovare una grotta, o per ritrovare vecchi buchi segnalati nel passato: sempre che il posizionamento ai tempi fosse stato effettuato correttamente! O, più banalmente, in una zona a noi sconosciuta, potremo sempre ritrovare il campo o l'auto, di giorno, di notte o nella nebbia, senza vagare per monti e valli per ore.

Ma per effettuare una buona lettura e trasferire i dati sulla cartografia di dettaglio, conservandone la precisione, è necessario seguire alcune direttive, che, per quanto semplici, ahimè non sempre sono facilmente rintracciabili dal comune speleo nella copiosissima letteratura sull'argomento.

In questa ottica, l'Associazione Gruppi Speleologici Piemontesi ha deciso di raccogliere, ordinare ed arricchire le dispense utilizzate nei suoi stage regionali. Il risultato l'avete di fronte: vi siamo fin d'ora grati per le correzioni e i suggerimenti che vorrete farci pervenire.

Un'ultima osservazione: il testo è stato concepito in modo da essere consultato per i soli capitoli di interesse del lettore. Ove necessario, abbiamo pertanto preferito riprendere e sintetizzare concetti già presentati in altri capitoli, a tutto beneficio della comprensione e della facilità di lettura.

2. GENERALITÀ SUL SISTEMA

2.1. Cos'è il GPS

NAVSTAR Global Positioning System, o più semplicemente GPS, è un sistema formato da una costellazione di satelliti ed alcune basi a terra, che permette, attraverso l'invio di un flusso continuo di informazioni ad un utente dotato di un adeguato ricevitore, di calcolare le proprie coordinate in un qualsiasi punto della Terra.

2.2. Breve storia del GPS

I principi tecnici su cui si basa il GPS vennero ideati dagli scienziati della NASA, l'ente spaziale degli Stati Uniti d'America, negli anni '60 per risolvere alcuni problemi legati alle esplorazioni dello spazio. Solo nei primi anni '70 il Governo americano commissionò uno studio di fattibilità per un sistema di posizionamento globale, denominato in seguito NAVSTAR / GPS e destinato all'utilizzo militare terrestre, che superasse i limiti dei sistemi usati fino a quel momento (LORAN e OMEGA), basati sulla ricezione di onde radio emesse da stazioni fisse.

Il sistema prese effettivamente il via nel 1978, con il lancio del primo gruppo di satelliti per il GPS, in cui è stato confermato il corretto funzionamento dell'idea.

In seguito sono state organizzate altre fasi di lancio di "blocchi" di satelliti, destinati al completamento della costellazione ottimale e al miglioramento delle prestazioni del sistema.

Prendendo consapevolezza delle possibili applicazioni civili del GPS, il Governo degli Stati Uniti decise agli inizi degli anni '80 di consentire la produzione e l'utilizzo di apparati civili di ricezione, limitati però nelle loro prestazioni dall'introduzione di un errore artificiale. Così facendo si è dato il via all'apertura di un mercato economico enorme, lasciando inalterate le prestazioni strategiche dell'apparato militare americano.

All'inizio di questo millennio, visto il rapido evolversi delle tecnologie e il grande successo economico dei ricevitori a basso costo, è stato definitivamente eliminato l'errore artificiale anche per l'uso civile, lasciando inalterata la possibilità agli USA di sospendere il servizio per ragioni tattiche.

2.3. Vari utilizzi del sistema di GPS

Le applicazioni del GPS sono allo stato attuale innumerevoli, da quelle militari per cui originariamente era nato, a quelle professionali, scientifiche e ricreative. Il GPS, grazie ai bassi costi dei ricevitori ed alle ottime prestazioni, fornisce un supporto di lavoro o di svago fondamentale praticamente in tutte quelle attività nelle quali occorra determinare una posizione sulla superficie terrestre.

Molte delle applicazioni in cui ora il GPS è parte fondamentale, non erano neppure state immaginate.

Nella navigazione marittima è uno strumento importante, di cui si può dotare, oltre alla costosissima petroliera, anche una piccola imbarcazione da diporto. Il GPS interfacciato poi con altri strumenti di bordo può dialogare con il pilota automatico e permettere la visualizzazione della propria posizione su di una mappa precedentemente digitalizzata.

Quest'ultima applicazione, unitamente a informazioni provenienti da sensori posti sull'automobile, può fornire anche complessi percorsi automobilistici in grandi città.

Sempre in automobile un GPS, tramite cellulare, può comunicare ad una centrale le coordinate utili in caso di furto, grave incidente o di emergenza medica a bordo (vedi Figura 2.1).

Sofisticati modelli di GPS che usano tecniche di posizionamento ancora più precise controllano in maniera millimetrica il movimento della superficie di vulcani, di vaste aree sismiche e addirittura di movimenti relativi a lembi di faglie attive.

Inoltre in campo scientifico il GPS viene usato come riferimento di tempo estremamente preciso. Per esem-

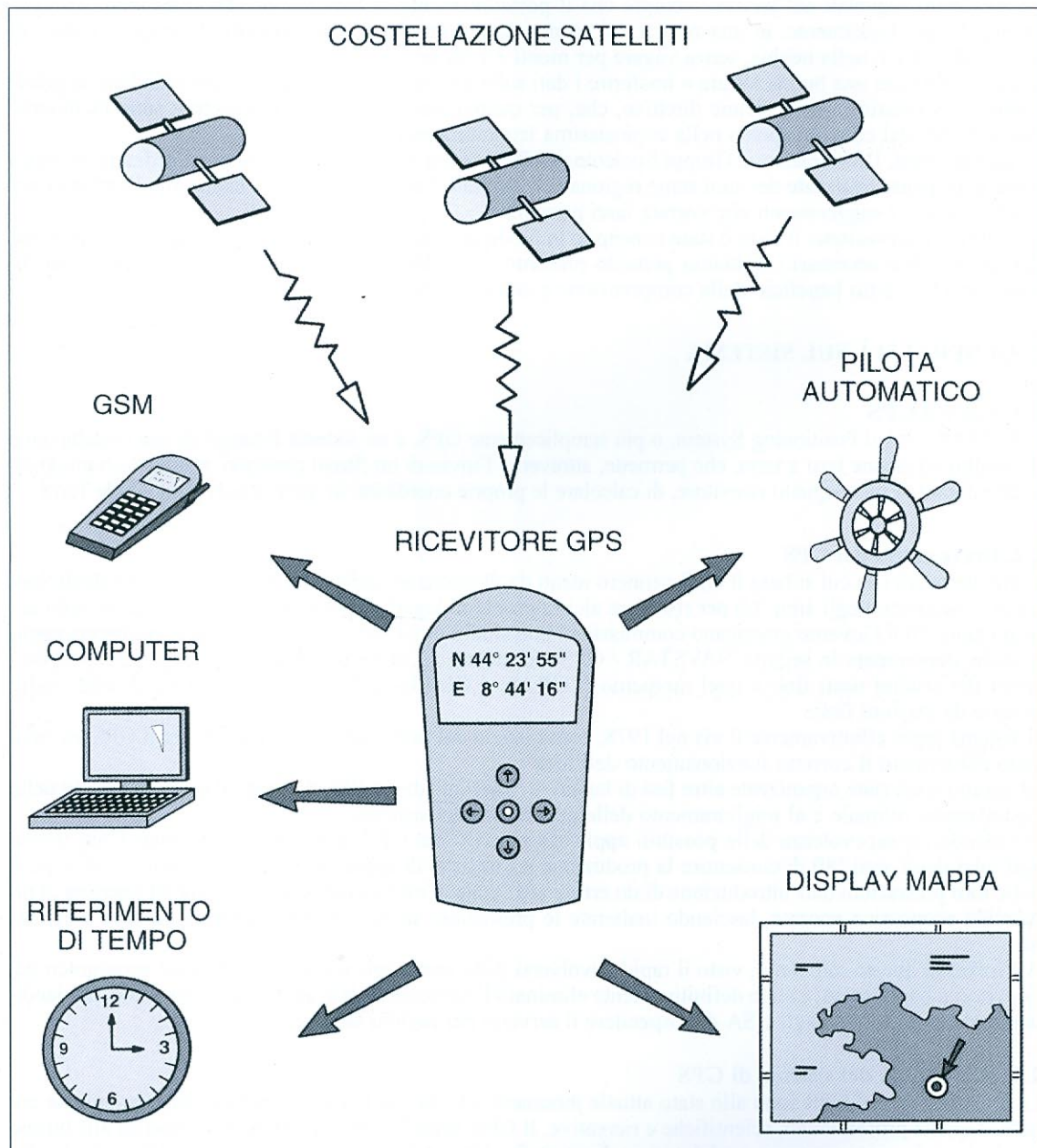


Fig. 2.1: le infinite applicazioni del GPS ai giorni nostri

pio il GPS fornisce ad una rete di computer collegata ad Internet il riferimento di tempo necessario alla sincronizzazione per l'interscambio di dati. Oppure ancora recenti esperimenti in laboratori scientifici sparsi su tutta la superficie terrestre utilizzano il segnale di tempo GPS come riferimento per sincronizzare alcuni eventi rilevati.

In conclusione possiamo dire che le applicazioni sono innumerevoli e i futuri miglioramenti del sistema GPS, in aggiunta di altri sistemi come il GLONASS, non faranno altro che incrementare le possibilità e le occasioni di utilizzo.

2.4. Come funziona il GPS

Alla base delle macchine più complesse esiste sempre una teoria semplice ed essenziale.

Così anche nel caso del sistema di posizionamento satellitare realizzato dal Dipartimento della Difesa (DoD) degli U.S.A. negli anni '70, si può tentare di capire il funzionamento generale di un apparato elettronico estremamente complesso ed evoluto utilizzando solo due semplici regole, una geometrica e una fisica.

2.4.1. Principi per la determinazione di un punto nello spazio

La prima di queste regole dice che determinare in modo preciso la propria distanza da quattro punti noti nello spazio equivale a conoscere la propria posizione assoluta.

La seconda è una formula della fisica classica che tutti conosciamo:

$$V=S/T$$

Facciamo mente locale per vedere perché ci interessano queste due regole, tenendo conto che il nostro scopo naturalmente è quello di capire dove ci troviamo utilizzando i sistemi di rappresentazione classici della geodesia, ovvero di conoscere le nostre coordinate rispetto ad alcuni particolari punti di riferimento.

In breve l'idea è questa: se conosciamo la nostra distanza da un solo punto noto dello spazio allora è come se ci trovassimo in un qualsiasi punto della superficie della sfera ideale che ha come raggio questa distanza e come centro il punto noto.

In pratica è come se riuscissimo a sapere in qualche modo che ci troviamo a 20.000 chilometri da un satellite che sta passando sopra di noi; siamo esattamente nella situazione indicata a sinistra nella Figura 2.2.

A questo punto è facile intuire che conoscendo pure la distanza da un secondo satellite, è come se ci trovassimo in un punto imprecisato del perimetro di un cerchio, dato dall'intersezione di due sfere (vedi parte centrale della Figura 2.2).

Complichiamo ancora la situazione aggiungendo una terza sfera (cioè la distanza da un terzo satellite): ecco che ci troviamo per forza in uno dei due punti, A oppure B, a destra in Figura 2.2.

Per ora lasciamo in sospeso quale dei due punti sia realmente quello in cui ci troviamo, tenendo conto che nel nostro caso basterebbe conoscere una quarta distanza, come preannunciato, per risolvere definitivamente il problema. Come vedremo più avanti invece, uno dei due punti sarà escludibile in modo automatico perché irrealistico, e la quarta distanza servirà ad altro scopo.

Ricapitolando, con semplici congetture geometriche possiamo risolvere il problema di individuare univocamente la nostra posizione rispetto a tre satelliti, semplicemente conoscendo la nostra distanza da loro.

Servono solo le distanze e niente altro... ma come conoscerle?

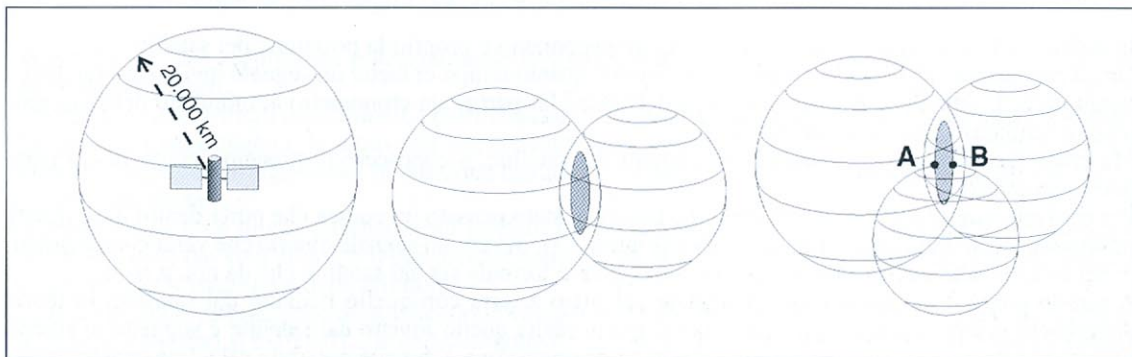


Fig. 2.2: la distanza da 3 punti noti individua una coppia di punti nello spazio

È qui che entra in gioco la regola fisica accennata prima, riformulata nel seguente modo: se siamo in grado di sapere quanto tempo ci mette a raggiungerci un segnale inviato dal satellite e la velocità con cui viaggia (un'onda elettromagnetica, per esempio, viaggia nel vuoto alla velocità della luce) possiamo risolvere l'equazione ottenendo come risultato esattamente la nostra distanza dal satellite.

In formula: $d = t \cdot v$
d = distanza incognita dal satellite
t = tempo di percorrenza del segnale
v = velocità con cui viaggia il segnale

Semberebbe forse già questa una soluzione, ma in realtà proprio ora si presentano tre problemi non da poco.

Il primo è questo: abbiamo detto che è necessario conoscere le distanze da tre punti noti per considerare risolto il problema, ma come si può fare nella realtà a calcolare esattamente la posizione dei satelliti, oggetti che si muovono continuamente rispetto al pianeta? Con una banca dati chiamata Almanacco, contenente le traiettorie (anche dette Effemeridi) estremamente precise e dettagliate di tutti i satelliti e memorizzata nel nostro ricevitore portatile.

I satelliti pur seguendo traiettorie prestabilite, subiscono comunque delle piccole perturbazioni nella loro orbita. Le stazioni di monitoraggio del sistema a terra rilevano costantemente le loro orbite ed aggiornano di conseguenza l'Almanacco; talvolta correggono direttamente le traiettorie, rimettendo i satelliti sulla giusta orbita.

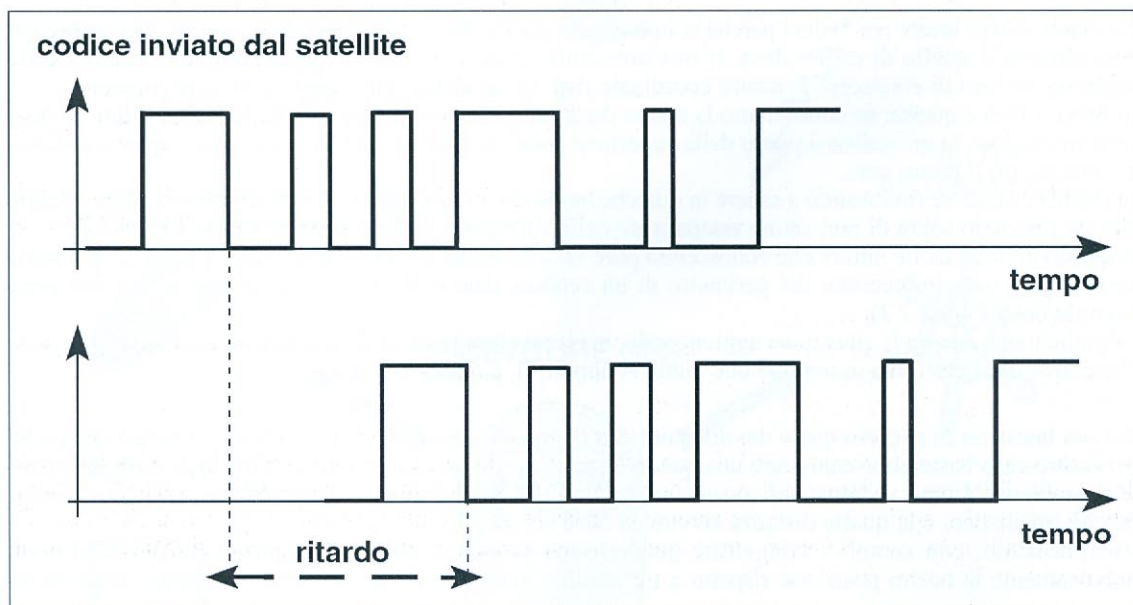


Fig. 2.3: esempio di pseudo-codice e di calcolo del ritardo del segnale

In definitiva l'unica cosa veramente certa di cui disponiamo è proprio la posizione dei satelliti.

Ora si può passare al secondo problema: per sapere quanto tempo ci mette un segnale inviato dal satellite a raggiungere la superficie del nostro pianeta dobbiamo far partire un cronometro al momento della sua partenza e fermarlo al momento del suo arrivo.

Ma come facciamo noi, che siamo così distanti dal satellite, a conoscere il momento esatto in cui parte questo segnale?

Per risolvere questo problema, tutt'altro che banale, è stato pensato un codice che porta dentro di sé questa informazione: si tratta di uno pseudo-codice (Figura 2.3), ovvero un segnale binario che varia continuamente nel tempo e che viene calcolato in base a complesse formule sia dal satellite che da noi, a terra.

A questo punto basta confrontare il segnale calcolato a terra con quello ricevuto dal satellite: in teoria dovrebbero essere identici istante per istante, ma in realtà quello inviato dal satellite è soggetto al ritardo accumulato durante il viaggio. Con una semplice comparazione è dunque possibile calcolare quanto tempo prima è partito quest'ultimo.

Rimane l'ultimo problema che è anche il più complesso: bastano piccolissime differenze di sincronizzazione (dell'ordine di microsecondi) tra l'orologio del ricevitore a terra e quello del satellite per provocare errori enormi (dell'ordine di chilometri) nella risoluzione delle equazioni viste. E purtroppo questi problemi di sincronismo esistono e vanno corretti.

L'unica soluzione è quella di valutare una nuova distanza da un quarto satellite e di effettuare, in base a questa, alcune correzioni dei dati in nostro possesso. Si complicano leggermente i calcoli, ma si rendono sufficientemente affidabili le soluzioni.

Per chi ne volesse sapere di più, in effetti si correggono i dati di distanza ottenuti impostando le quattro equazioni per mezzo di un vero e proprio procedimento per tentativi: si aggiungono e sottraggono alcune quantità casuali alle equazioni del sistema, ottenendo valori di correzione "tendenti" a rendere il sistema risolvibile analiticamente (e quindi tale che esista un'unica soluzione).

Concludendo, abbiamo a questo punto un sistema che funziona a patto che riceva i segnali di quattro satelliti, avendo a disposizione i tracciati delle loro traiettorie e le formule per il calcolo di un particolare pseudocodice. Rimane solo da capire quale sia il suo grado di affidabilità.

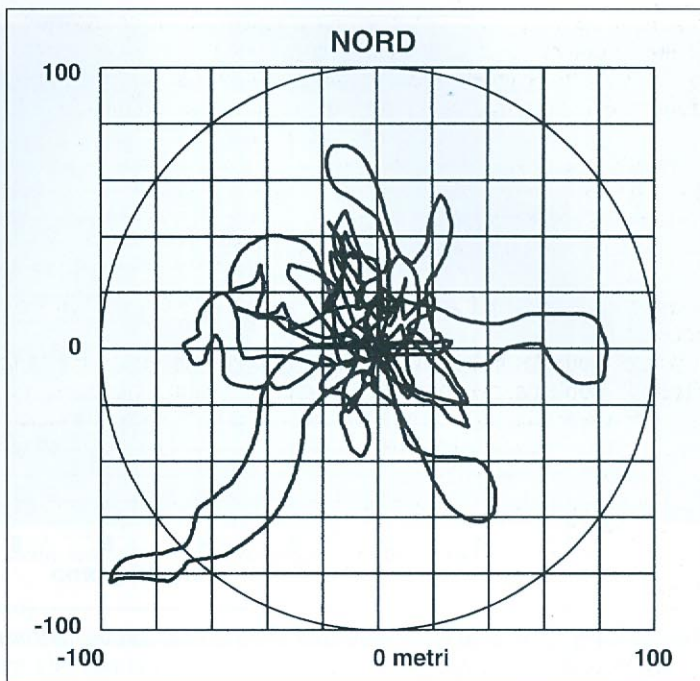


Fig. 2.4: come può variare nel tempo la posizione di un punto fermo, a causa degli errori introdotti dal sistema, con S/A attivata

2.4.2. Fonti di errore nel sistema

Purtroppo, al di là della semplice analisi appena fatta, la realtà delle cose è estremamente complessa e le cause di errori nella valutazione della posizione sono moltissime ed insidiose.

Innanzitutto negli anni '80 questo sistema è stato reso "di pubblico utilizzo" da parte del governo degli Stati Uniti a prezzo di una crittografia del segnale. In parole povere, fino al maggio 2000, l'esercito americano ha riservato solo a se stesso la possibilità di utilizzare il GPS nelle sue piene potenzialità, concedendo al resto del mondo di usufruire solamente di dati distorti da un "errore imposto". Così i satelliti, prima di inviare il segnale, in pratica aggiungevano volutamente un piccolo sbaglio per confondere le idee ai ricevitori. Di conseguenza la posizione calcolata a terra conteneva un errore variabile, che in genere si manteneva in un raggio di 100-150 metri (Figura 2.4).

A partire dal maggio 2000 questa forma di crittografia del segnale è stata abbandonata, con l'opzione di un eventuale riattivazione da parte degli USA, in caso di necessità tattico militare (vedi Figura 2.5).

Oltre a questa, che rappresenta potenzialmente la fonte più grande di errore del GPS, esiste una serie di problemi più piccoli.

Per esempio sono difficili da eliminare i ritardi causati dalla troposfera e dalla ionosfera terrestre sul segnale che, prima di raggiungerci, le attraversa interamente; una quantità di materia rarefatta ma notevole. Essa perturba il segnale, rifrangendolo, in due zone distinte, nella parte più alta (da 100 a 300 km sopra di noi) e in quella più bassa.

La prima è una zona di gas estremamente rarefatti e martellati dalla radiazione solare che li ionizza (cioè strappa elettroni dai suoi atomi, e il gas diventa conduttivo) in un modo molto variabile a seconda dell'ora del giorno, della stagione e della latitudine.

È questo lo strato responsabile della riflessione verso terra delle onde radio: al di sotto di una certa frequenza, in genere intorno ai 5-10 MHz, le onde vengono riflesse in giù come avessero urtato uno strato metallico, si trovano intrappolate fra la ionosfera e la Terra e così si propagano per ogni dove. Per questo motivo sono possibili le trasmissioni radio a lunghissime distanze.

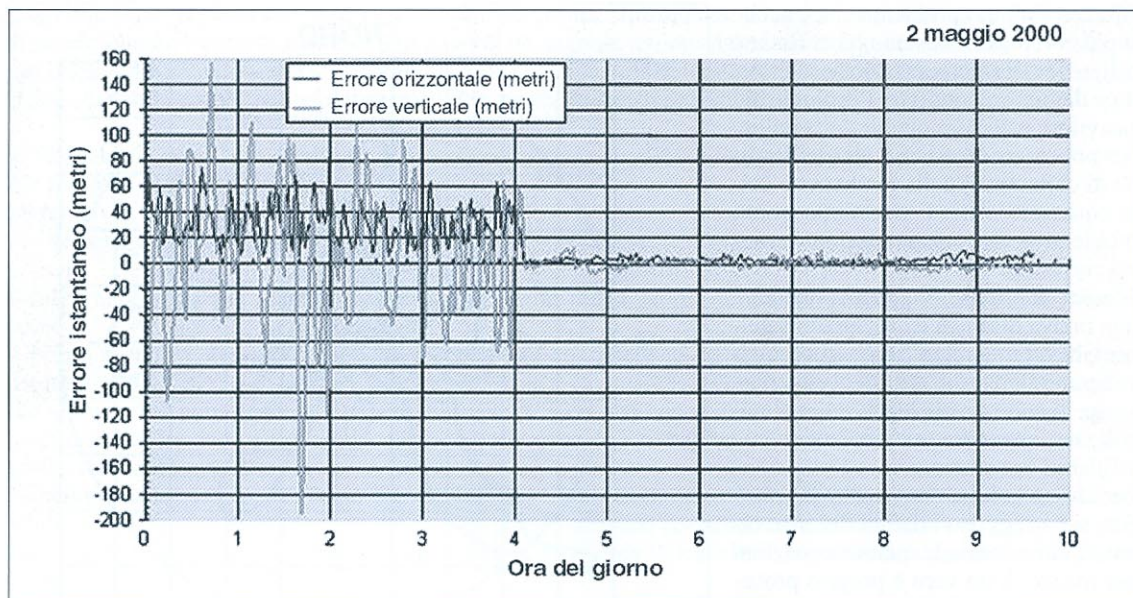


Fig. 2.5: *il magico momento della disattivazione dell'errore imposto, a metà del 2000.*

Al di sopra di quella frequenza (e quella dei GPS è oltre i 1000 MHz) il segnale si propaga ma ad una velocità diversa da quella che ha nel vuoto. Il guaio è che questo ritardo dipende dallo stato della ionosfera, che varia di continuo e questo di per sé introduce un errore sensibile, una parte sostanziale di quello che attualmente si ha con strumenti economici. In realtà si può rimediare: il ritardo è variabile durante il giorno, ma è sempre inversamente proporzionale al quadrato della frequenza dell'onda che lo attraversa e dunque i GPS più raffinati ricevono lo stesso segnale su due frequenze diverse e, dal ritardo relativo fra loro, riescono a ricostruire lo stato della ionosfera in quell'istante e quindi possono determinare il ritardo assoluto e correggerlo.

Più difficile è eliminare il secondo errore, quello introdotto dalle parti basse dell'atmosfera. In queste zone l'aria è un isolante molto buono (un dielettrico) e dunque l'onda che la attraversa ha un comportamento molto diverso che in precedenza, ma viene ritardata in modo simile. Gran parte del ritardo è correggibile, perché si presenta sempre nello stesso modo: il guaio sta nell'ultimissimo tratto della corsa a causa della presenza di vapore d'acqua. Esso è estremamente efficace nel ritardare il segnale, a causa della polarità della molecola dell'acqua, ma la sua quantità nell'aria è spaventosamente variabile: si va dall'aridità dei deserti antartici all'umidità dell'aria amazzonica... Questo errore è praticamente ineliminabile (vedi Figura 2.6).

Sta di fatto che questi due errori sono tanto più grandi quanto maggiore è la quantità d'aria attraversata: è per questo che conviene escludere da misure di precisione i dati di satelliti molto bassi sull'orizzonte ($<15^\circ$) che hanno bucatato centinaia di chilometri di atmosfera.

Per questi stessi motivi, quando si vogliono fare misure precise con una media di misure indipendenti, conviene mediare fra misure distanziate fra loro di almeno alcune ore per acquisire dati relativi a stati differenti della ionosfera e dell'umidità dell'aria.

A questi errori ambientali si aggiunge poi un errore piuttosto insidioso, definito tecnicamente "multipath" (in Figura 2.7). Un'onda elettromagnetica, nel nostro caso ogni singolo segnale emesso dai satelliti, può subire una o più riflessioni sugli oggetti che circondano il ricevitore, prima di raggiungerlo. In questo modo il palmare elabora sia segnali diretti che ritardati (riflessi), compromettendo anche gravemente la correttezza del calcolo della posizione. Abbiamo un esempio di una situazione simile nelle nostre case quando l'immagine televisiva si presenta sdoppiata per effetto della ricezione di un segnale diretto dal ripetitore più uno riflesso da una montagna.

Poi possono esistere piccolissimi errori dell'orologio atomico a bordo del satellite, oppure interferenze elettromagnetiche sul nostro ricevitore.

Tutti questi errori producono comunque, globalmente, variazioni dell'ordine di una decina di metri sulla

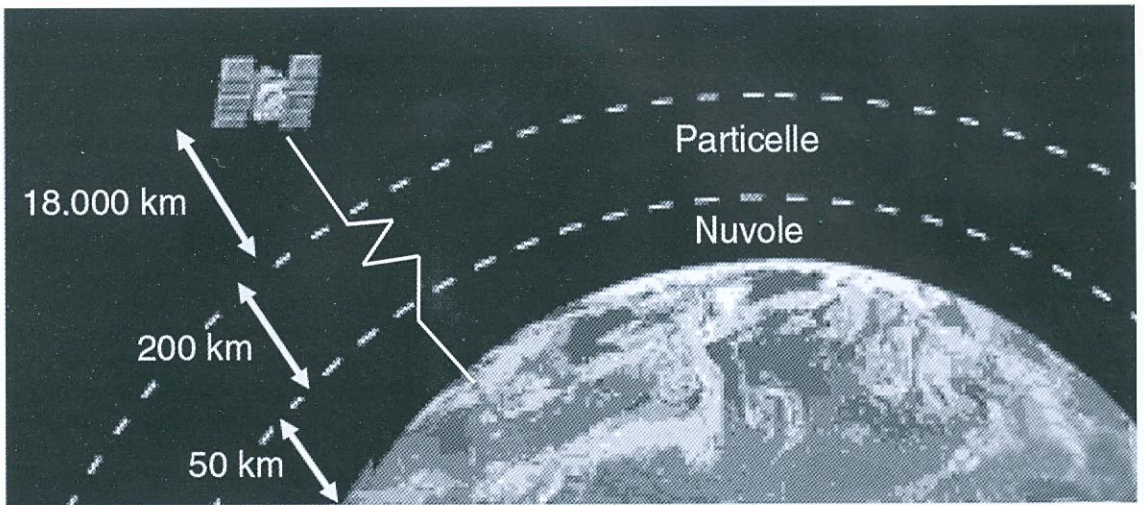


Fig. 2.6: il ritardo della ionosfera e dell'atmosfera su un segnale

posizione reale (vedi la tabella di esempio).

Un errore, che invece ha una certa importanza, ci consente di riprendere il discorso sospeso in precedenza a proposito dell'intersezione delle tre sfere che fornisce due punti di soluzione anziché uno solo come necessario.

Conosciamo infatti la posizione esatta dei satelliti rispetto al centro della terra grazie all'Almanacco, come visto, e la nostra possibile posizione rispetto ai satelliti ridotta a due punti, A e B.

Ma come può sapere il nostro ricevitore in quale dei due punti si trova?

Semplice: al suo interno possiede una mappa terrestre molto approssimata (un modello geodetico o Mapping Datum) che gli consente di sapere, ad esempio, i principali diametri del nostro pianeta, fornendogli un discriminante sufficiente, nella maggioranza dei casi, nella scelta tra A oppure B.

Quando A o B sono equivalenti per il nostro

<i>Errori di clock del satellite</i>	<i>circa 2 metri</i>
<i>Errori delle Effemeridi</i>	<i>circa 2 metri</i>
<i>Errori dovuti alla Troposfera</i>	<i>circa 0,7 metri</i>
<i>Errori dovuti alla Ionosfera</i>	<i>circa 4,2 metri</i>
<i>Errori dovuti al ricevitore</i>	<i>circa 0,5 metri</i>
<i>Errore Totale Quadratico</i>	<i>circa 6 metri</i>

Tabella 1: un esempio di errore quadratico medio per una situazione tipica. Moltiplicando questo valore per l'indice di precisione geometrica (GDOP, spiegato nel capitolo 4) si ottiene una stima grossolana del probabile errore massimo che sta commettendo il nostro ricevitore.

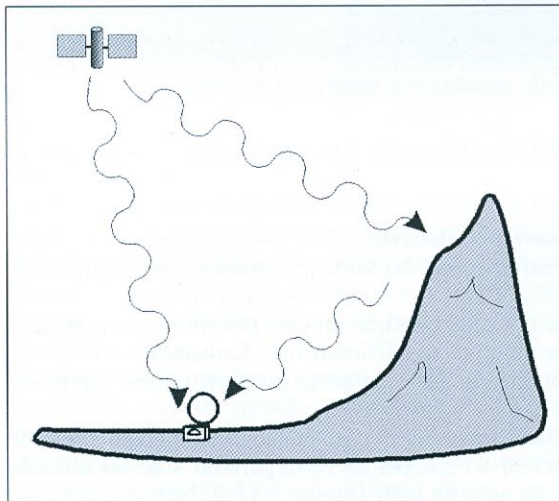


Fig. 2.7: ricezione di un multipath da parte di un ricevitore

posizionatore, allora ne viene scelto uno casualmente, con il conseguente possibile errore.

Il Mapping Datum che descrive in modo piuttosto generale tutta la superficie terrestre, è il WGS 84. Come è noto però la superficie terrestre è molto irregolare, quindi per migliorare la precisione della descrizione sono stati messi a punto dei modelli geodetici la cui validità è ristretta ad una porzione particolare della terra. Ad esempio per l'Europa si può utilizzare il Mapping Datum chiamato "European 1950", mentre per il Nord America è preferibile il "Mississippi 1937". I ricevitori in genere conoscono molti modelli geodetici (anche un centinaio), quindi a seconda della zona del mondo e della carta geografica che si sta usando bisogna usare quello più corretto, pena un ulteriore errore sulla misura planimetrica.

Tutti i datum di cui si è parlato finora non tengono conto delle quote ma solo della posizione sulla superficie. Si tratta cioè di datum orizzontali.

Il datum verticale è il sistema di riferimento per le quote. Tutti noi abbiamo sentito parlare di quote rispetto al livello del mare, ma il livello del mare cambia ogni giorno a causa delle maree, per cui si considera la media delle misure del mare su un periodo di una ventina di anni. Anche così il livello però non è fisso in quanto può variare nel tempo a causa di fenomeni bradisismici oppure di variazioni delle masse glaciali polari.

Un'altra superficie di riferimento possibile per le quote è quella dell'ellissoide di riferimento e la quota viene detta ellissoidica. La quota calcolata dal GPS è una quota di questo tipo e per ottenere la quota sul geoide il ricevitore ha al suo interno un modello del geoide stesso. La bontà della quota ottenuta in questa maniera, a parte gli errori di altra natura, è quindi influenzata dall'accuratezza di questo modello. Questo calcolo può anche essere effettuato a casa utilizzando la quota ellissoidica e la quota del geoide rispetto all'ellissoide ottenuta tramite tabelle o programmi appositi (vedi Figura 2.8).

A questo si aggiunge un'altra fonte di errore, più piccola: quando eseguiamo posizionamenti con buoni indici di GDOP, ovvero utilizzando satelliti posizionati su una larga fascia del nostro cielo piuttosto che concentrati tutti in una unica zona ristretta, miglioriamo la precisione del dato relativo alla misura orizzontale e peggioriamo quello relativo alla misura verticale.

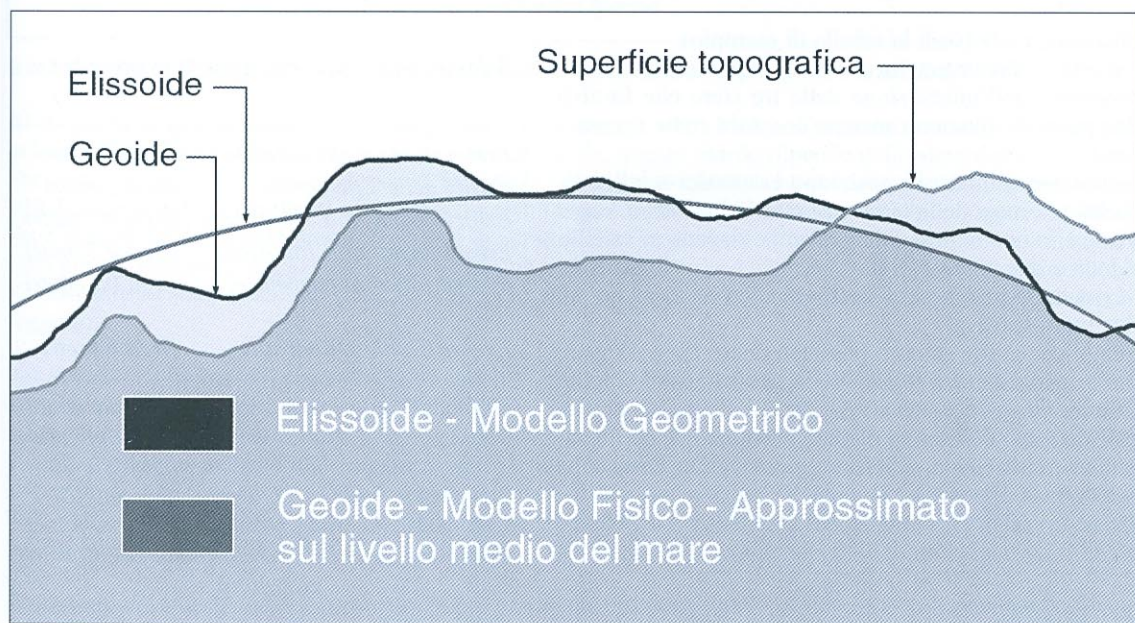


Fig. 2.8: Rapporti geometrici tra modello geodetico e superficie terrestre

3. GENERALITÀ SUI RICEVITORI

3.1. Tipi di ricevitori GPS: singoli e differenziali, nuove prospettive

Finora abbiamo analizzato l'idea che ha consentito la realizzazione del GPS ed i problemi più immediatamente pratici che ha comportato questa realizzazione.

Tutti i ragionamenti fatti seguivano però all'assunto che noi possedessimo un solo ricevitore su cui pesano in modo importante una serie di errori dovuti alle cause più diverse, difficilmente eliminabili.

In realtà se avessimo due ricevitori funzionanti simultaneamente gran parte di questi errori sarebbero eliminabili. Vediamo come.

Pensiamo di installare un ricevitore in un punto geografico trigonometrico (di cui sono facilmente ottenibili coordinate estremamente precise) e di mantenerlo, fermo ed acceso, per un certo periodo. Con un secondo ricevitore intanto posizioniamo il punto che ci interessa, da un'altra parte (Figura 3.1). Ebbene, se leggiamo nello stesso istante le coordinate del primo ricevitore e del secondo e le scriviamo su un foglio, potremo poi controllare le vere coordinate del punto noto, calcolare l'errore che il sistema ci ha fornito in quel preciso

momento (con una semplice sottrazione) e utilizzare tale informazione per correggere le coordinate del punto che ci interessa, perché soggette allo stesso identico errore.

Questo semplicissimo procedimento si chiama Differential Global Positioning System (DGPS) e consente di ottenere, con pochissimi accorgimenti, precisioni ottime (da pochissimi metri a pochi centimetri, a seconda dei modelli di ricevitori utilizzati e del programma di correlazione dei dati).

Con questo metodo possiamo eliminare l'errore di clock dei satelliti e gli errori delle Effemeridi (se i satelliti usati dalla postazione fissa e da quella in movimento sono gli stessi), gli errori dovuti alle deviazioni d'onda da parte della ionosfera e della troposfera (se le due postazioni non sono troppo lontane fra loro).

Il maggior problema di questa tecnica è la necessità di sincronismi precisi nelle letture dei dati sulle due postazioni. A questo proposito conviene analizzare almeno le metodologie attualmente più utilizzate per la sincronizzazione.

Il primo metodo utilizza un collegamento radio tra il ricevitore fisso e quello mobile. La postazione fissa è composta da un apparato ricevente, un piccolo elaboratore ed un trasmettitore radio. Il ricevitore fisso determina le proprie coordinate e passa tale informazione all'elaboratore.

Questo, conoscendo le sue coordinate reali, calcola le correzioni di tempo e delle Effemeridi dei satelliti che la postazione mobile deve apportare nei suoi calcoli.

A questo punto l'elaboratore aggiunge delle informazioni di tempo fondamentali per sincronizzare i due ricevitori e prepara il codice che verrà inviato nell'etere tramite il trasmettitore.

La parte mobile è composta da un ricevitore radio, un ricevitore GPS ed un elaboratore. L'elaboratore mobile riceve i dati sia dalla postazione mobile che dal ricevitore radio, correla le due informazioni e determina così le proprie coordinate reali.

Questo sistema è applicato in larga scala nella nautica. Ad esempio lungo le coste americane (analoghi sistemi sono o saranno messi in opera anche sulle coste europee) è stata approntata una rete di GPS fissi (collocati all'interno dei radio fari) che inviano le informazioni di correzione agli strumenti ricevitori GPS a bordo delle navi in transito in quelle zone. In questo modo una nave durante l'avvicinamento alle coste ha una precisione di posizionamento con un errore inferiore ai 10 metri.

Esistono anche sistemi di posizionamento differenziale in cui l'utente dispone sia della stazione fissa che di quella mobile.

In alternativa a questa strategia è stato anche studiato un metodo di analisi a posteriori dei dati denominato post-processing.

Questo sistema è composto da una postazione ricevente fissa (corredata di un piccolo elaboratore) che memorizza in continuazione le informazioni di correzioni d'errore e le informazioni di tempo, e da un ricevitore mobile (corredato anche questo di un piccolo elaboratore) che memorizza alcune informazioni relative ai satelliti ed alle informazioni di tempo, quando calcola il punto. In questo caso la stazione mobile non ha nessun contatto diretto con la stazione fissa e quindi, in prima battuta, restituisce solo le coordinate affette da errore.

Per correggerle bisogna riversare le informazioni in un computer ove un adeguato programma ricalcola le coordinate in modo corretto, confrontando le informazioni ricavate dai due ricevitori ed eliminando buona parte dei soliti errori.

Alcuni software sono in grado di aumentare ulteriormente la precisione dell'elaborazione, utilizzando altri dati supplementari relativi alle Effemeridi e alle condizioni della ionosfera, messi a disposizione su Internet sempre dai gestori del sistema GPS.

Questa tecnica permette di determinare con maggiore semplicità le coordinate di qualunque punto, elimi-

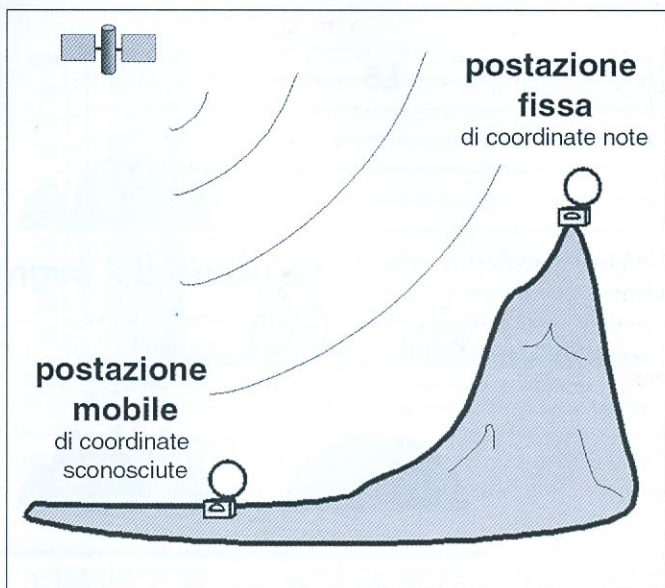


Fig. 3.1: il funzionamento teorico del GPS differenziale, prevede l'uso di una postazione mobile e di una fissa

L5

L2

L1



Struttura del segnale attuale

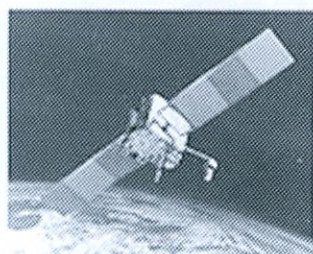


1176,45 Mhz

1227,60 Mhz

1575,42 Mhz

Struttura del futuro segnale



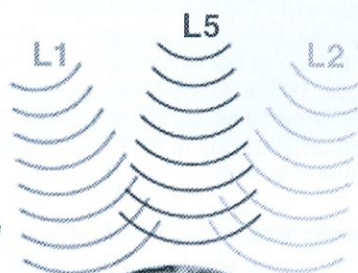
12 Satelliti IIF

Segnale L5

- E' un nuovo robusto segnale per la navigazione civile (Banda Aeronautica)
- Centrato a 1176,45 Mhz

Miglioramenti di L1

- Nuovo codice militare
- Possibilità di aggiungere altre funzioni



Miglioramenti di L2

- Codice civile C/A
- Aggiunto nuovo codice militare
- Possibilità di aggiungere altre funzioni

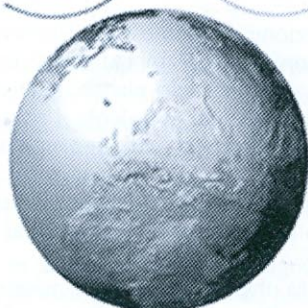


Figura 3.2: nuova struttura del segnale del futuro GPS ed effetti di L5

nando la necessità di un collegamento radio, che potrebbe essere impossibile da utilizzare, ad esempio in una zona impervia.

Un'altra tecnica utilizzata da citare è quella utilizzata da alcuni ricevitori GPS più costosi, che sfruttano una teoria matematica complessa e utilizzano contemporaneamente più frequenze di ricezione, in modo da raffinare ulteriormente la qualità dei risultati.

Non solo i ricevitori subiscono continui miglioramenti tecnici, ma anche il sistema GPS nel suo complesso ha un preciso piano di sviluppo atto a migliorare le prestazioni attuali e ad aggiungere nuove funzionalità. Il piano d'opera che sarà messo in pratica da qui al 2010 prevede un incremento della precisione sia statica che dinamica ed un miglioramento sostanziale nel calcolo della quota.

Questo miglioramento del sistema riguarderà segnali sia civili che militari e verrà raggiunto attraverso l'utilizzo di un nuovo codice denominato M (ad uso esclusivo militare) con l'incremento della potenza del segnale e con l'aggiunta di una nuova frequenza di trasmissione L5, accorgimenti, questi ultimi, a vantaggio anche degli utenti civili (Figura 3.2).

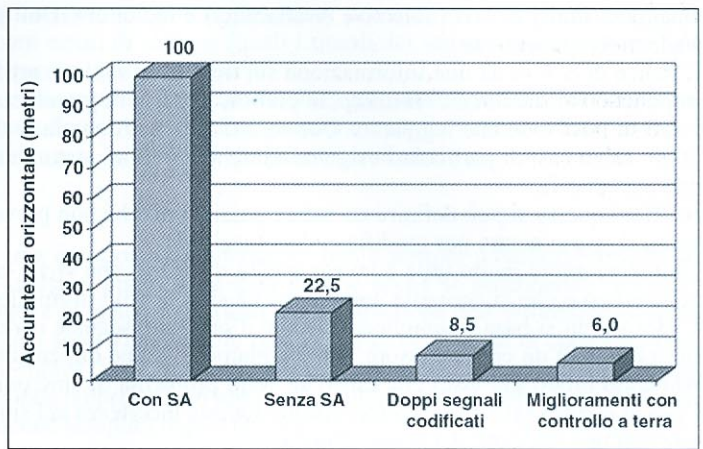


Figura 3.3: grafico delle prestazioni teoriche e pratiche delle varie soluzioni di posizionamento satellitare

Negli ultimi anni è stato realizzato un sistema analogo al GPS da parte della Russia, denominato GLONASS; le caratteristiche tecniche sembrano inferiori a quelle del GPS anche se in alcuni casi il GLONASS è migliore. L'uso che può interessare a noi è legato alla messa in commercio di nuovi ricevitori in grado di elaborare i segnali di entrambi i sistemi di posizionamento, e quindi capaci di fornire informazioni con un livello di precisione nettamente più alto.

Attualmente il loro costo è alto, ma come è accaduto in precedenza con i ricevitori GPS, si tratta solo di attendere con un po' di pazienza e di valutare poi attentamente il rapporto costo/prestazioni (Figura 3.3). Ultimo in fase di tempo ma, molto importante per noi europei, è il progetto denominato GSNN commissionato all'Agenzia Spaziale Europea per scopi aeronautici civili e terrestri di pubblico servizio.

Il sistema prevede l'utilizzo contemporaneo dei due sistemi (GPS e GLONASS) con un ulteriore apporto di informazioni trasmesse da stazioni di terra, tramite Radio Data System, oppure tramite satelliti geostazionari. Il GSNN in una prima fase sarà già disponibile alla fine del 2001, mentre il completamento del progetto avverrà entro il 2005.

3.2. Principali funzioni disponibili sui ricevitori

Esistono in commercio decine di tipi di ricevitori diversi, dedicati ad applicazioni e campi particolari: alcune funzionalità fondamentali rimangono comunque comuni a tutti.

L'informazione principale che ogni ricevitore deve essere in grado di fornire è ovviamente quella di posizione, sotto forma di latitudine, longitudine e quota. Un altro dato che tutti i ricevitori sono solitamente in grado di visualizzare è l'ora, visto che il flusso del tempo è uno degli elementi principali su cui si basa tutto il sistema.

Poi in genere vengono rese disponibili informazioni di tracciamento di una rotta, dal punto in cui ci troviamo verso uno o più punti memorizzati, tramite informazioni di distanza, direzione, velocità e mantenimento della rotta.

4. PREPARAZIONE DEL PALMARE E LIMITAZIONI DI UTILIZZO

4.1. Indici di precisione "importanti"

In generale esistono alcuni semplici criteri di valutazione dell'errore che ci sta penalizzando, che nello specifico variano ovviamente da un ricevitore all'altro, ma che si possono grosso modo dividere in due

categorie: indici di S/A (Selective Availability) e indici di GDoP (Geometric Dilution of Precision). Vediamoli brevemente.

L'indice di S/A ci dà una informazione sul tipo di distorsione artificiale dei dati che il DoD americano sta imponendo ai satelliti e ci fornisce, in pratica, l'ordine di grandezza dell'errore massimo a cui sono soggetti i dati di posizione che leggiamo. Questo indice è stato regolato al valore minimo a partire da maggio del 2000, salvo casi di particolari esigenze tattiche e militari statunitensi (si pensi ad esempio il caso di guerre con altri paesi).

In effetti questo si può definire un indice passivo, perché non prevede comunque alcuna possibilità di intervento da parte nostra per modificare la situazione.

Un indice attivo molto utile è invece quello di GDoP, che viene calcolato sfruttando un semplice concetto geometrico e che ci consente margini anche significativi di miglioramento delle nostre letture.

L'idea su cui si basa è semplice. Il fronte d'onda del segnale inviato dal satellite si può pensare come una linea curva di un certo spessore: immaginiamolo in due dimensioni, per semplificare.

Abbiamo infatti già visto che esiste un serio problema di sincronismo tra satelliti e ricevitore che impone l'uso di quattro satelliti per essere risolto. Questa incertezza nel sincronismo graficamente si può rappresentare con uno spessore del fronte d'onda.

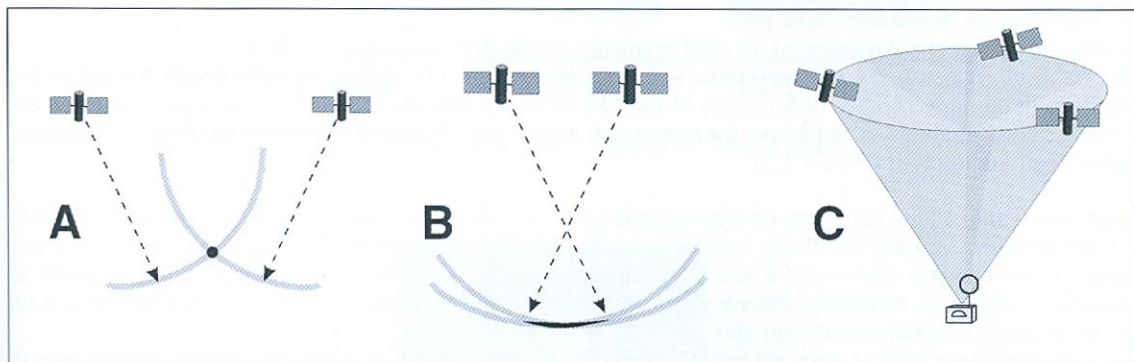


Fig. 4.1: gli indici di diluizione della precisione vengono calcolati in base alla posizione geometrica dei satelliti utilizzati per il posizionamento.

Ripensiamo per un attimo a quanto detto precedentemente a questo proposito e analizziamo il disegno A di Figura 4.1: con due satelliti in due dimensioni non abbiamo in realtà un punto di intersezione dei fronti d'onda ma una piccola area. Noi ci troviamo in un punto imprecisato di quest'areola e solo l'uso di un altro satellite (il terzo in due dimensioni ma il quarto nello spazio) ci consente una stima della posizione.

Ora, se i satelliti sono vicini (Figura 4.1, disegno B) l'areola diventa più grande ed il punto stimato (per tentativi, ricordiamo) dal nostro apparato ricevente perde via via di credibilità. Ebbene l'indice di GDoP si basa su questo concetto, stimando la qualità del posizionamento dei satelliti visibili nel nostro spicchio di cielo. Se l'indice è poco conveniente, basta aspettare che i satelliti cambino posizione per migliorare le prestazioni.

A livello pratico viene calcolato l'inverso del volume del cono equivalente sotteso dai satelliti formalmente utilizzati nel calcolo (Figura 4.1, disegno C) e dal ricevitore, per una costante caratteristica. Tre perché vengono automaticamente scelti i tre migliori per la soluzione delle equazioni tra i quattro disponibili, mentre il quarto viene lasciato per le correzioni.

Infine, in alcuni modelli di ricevitori, esiste un importante strumento di prima correzione manuale degli errori di cui si è parlato, che prevede la conoscenza precisa di almeno una delle coordinate in cui ci troviamo. Ad esempio se disponiamo della quota precisa del punto che voglio posizionare, possiamo suggerirla al nostro ricevitore che rifarà tutti i calcoli in base a questo "dato certo". Il risultato è un miglioramento consistente della precisione.

4.2. Utilizzo di filtri statici (filtri di media)

Spesso i ricevitori in commercio dispongono della possibilità di eseguire posizionamenti con filtri statici, ovvero attraverso processi di media della posizione.

Si tratta di una opzione molto importante, soprattutto in campo speleologico, che può migliorare considerevolmente la qualità del risultato e metterci al riparo da errori grossolani. L'idea su cui si basano questi filtri è semplice: invece che mostrarci la posizione calcolata direttamente dai dati ricevuti dai satelliti, vengono

calcolate diverse posizioni è mediate fra loro. Molte delle imprecisioni derivanti da piccoli cambiamenti delle condizioni locali di ricezione ed alcuni errori di sistema (quali i ritardi dei segnali nella ionosfera, ad esempio), possono essere compensate da questo tipo di approccio.

Talvolta, con una attenta osservazione, saremo persino in grado di accorgerci della presenza di Multipath durante la lettura, ad esempio per il continuo fluttuare del dato di posizione tra valori molto differenti o per una apparente difficoltà di mantenere stabilmente la visibilità dei satelliti utilizzati.

4.3. Il decalogo del buonsenso

Dovremmo sempre tenere bene a mente una questione fondamentale: non è sempre possibile eseguire un posizionamento di qualità accettabile in qualsiasi punto della terra emersa anche se utilizziamo i migliori ricevitori in commercio, dotati di filtri statici e di metodi sofisticati per la correzione dell'errore imposto. Ad esempio, per il posizionamento speleologico sono vincolanti le condizioni morfologiche al contorno, cioè come localmente sono costituiti la valle, il monte, il canalone o il promontorio in cui ci troviamo. La forma e le caratteristiche dell'ambiente che ci circonda rappresentano sempre la limitazione maggiore all'ottenimento di risultati affidabili. Per questa ragione alcune semplici regole di buonsenso nell'utilizzo di queste apparec-

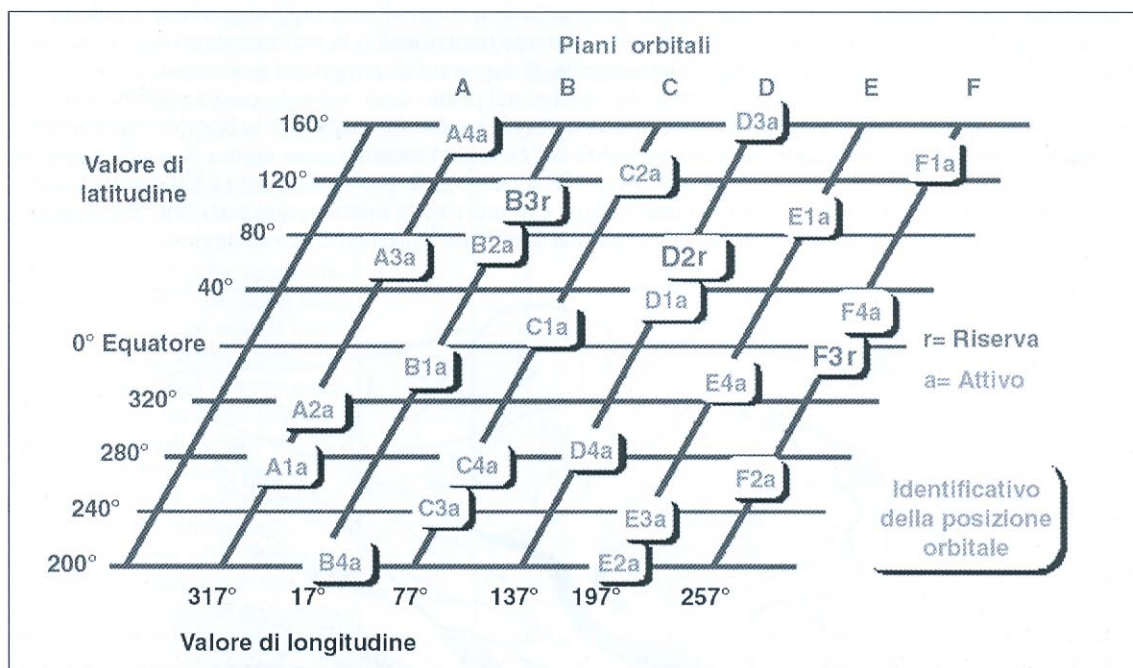


Fig. 4.2: rappresentazione semplificata della costellazione nominale del GPS

chiature possono fare la differenza tra una buona e una cattiva lettura.

1 - Angolo di apertura delle valli

In via indicativa è da escludere la possibilità di eseguire posizionamenti affidabili all'interno di valli molto incassate: per ottenere buone posizioni è necessario avere i due angoli di apertura sul cielo (riferiti agli assi principali della struttura morfologica) inferiori ai 40°-45°. Sono ovviamente ammesse soluzioni di compromesso, ma l'angolo di apertura sull'asse minore non deve mai essere inferiore ai 40° (vedi Figura 4.2).

Con l'esperienza, dopo un po', si acquista un occhio critico sufficiente a valutare di volta in volta le situazioni accettabili e quelle non accettabili.

Le ragioni pratiche di questa limitazione sono ovvie: formazione di Multipath, saltuaria indisponibilità del numero minimo di satelliti nello spicchio di cielo visibile oppure, più probabilmente, un indice della diluizione della precisione (GDOP) sconveniente.

2 - Presenza di vegetazione

La presenza di vegetazione intorno a chi esegue il posizionamento va considerata vero e proprio ostacolo morfologico: non è possibile realizzare posizioni affidabili al di sotto di alberi o circondati da alti cespugli.

Anche durante i mesi autunnali e invernali vale la stessa limitazione, indipendentemente dalla presenza di foglie sui rami, ancora una volta per problemi legati principalmente ai Multipath e alla schermatura.

3 - Posizionare l'antenna esterna

Una annotazione importante riguarda l'altezza da terra dell'antenna esterna (se la possediamo): una volta deciso il punto da posizionare e verificato l'angolo di apertura della valle, l'antenna esterna va sistemata almeno 60-80 cm più alta, verticalmente.

Un'altra considerazione fondamentale, non sempre riportata sui manuali di utilizzo dei ricevitori, è che l'antenna esterna va posizionata in piano (se si tratta di una antenna planare) oppure perfettamente verticale (se si tratta di una antenna a filo).

Comunque in generale è sempre meglio far funzionare l'antenna nelle condizioni migliori di ricezione.

4 - Aggirare il problema degli ostacoli

È straordinario come nella maggioranza dei casi le difficoltà relative a situazioni particolari di posizionamento siano dovute a ostacoli morfologici locali. Nella maggioranza di queste situazioni basta spostare di pochissimi metri il ricevitore per ovviare ad angoli di apertura delle valli troppo mortificanti o ad una vegetazione penalizzante (salendo su un piccolo promontorio o su un albero, raggiungendo una radura, ...). In questo modo, con una combinazione di poligonali esterne tradizionali e la realizzazione di punti GPS, si possono ancora ottenere enormi vantaggi relativamente al risparmio di tempo nel posizionamento.

Quelli in Figura 4.3 sono due esempi di situazioni tipiche: nel primo caso, volendo posizionare un punto di fondovalle ("Punto A"), nonostante ci si trovi ad una notevole profondità rispetto alla linea di superficie del massiccio, siamo in una situazione di buona visibilità del cielo; nel secondo caso invece non sarà possibile realizzare un posizionamento direttamente sul "Punto B" a causa della piccola scarpata a Est e della vegetazione a Ovest e a Nord. Però, con l'aiuto di una bussola e di una rotella metrica, sarà possibile posizionare il "Punto C", dove la superficie del massiccio fornisce una situazione estremamente vantaggiosa.

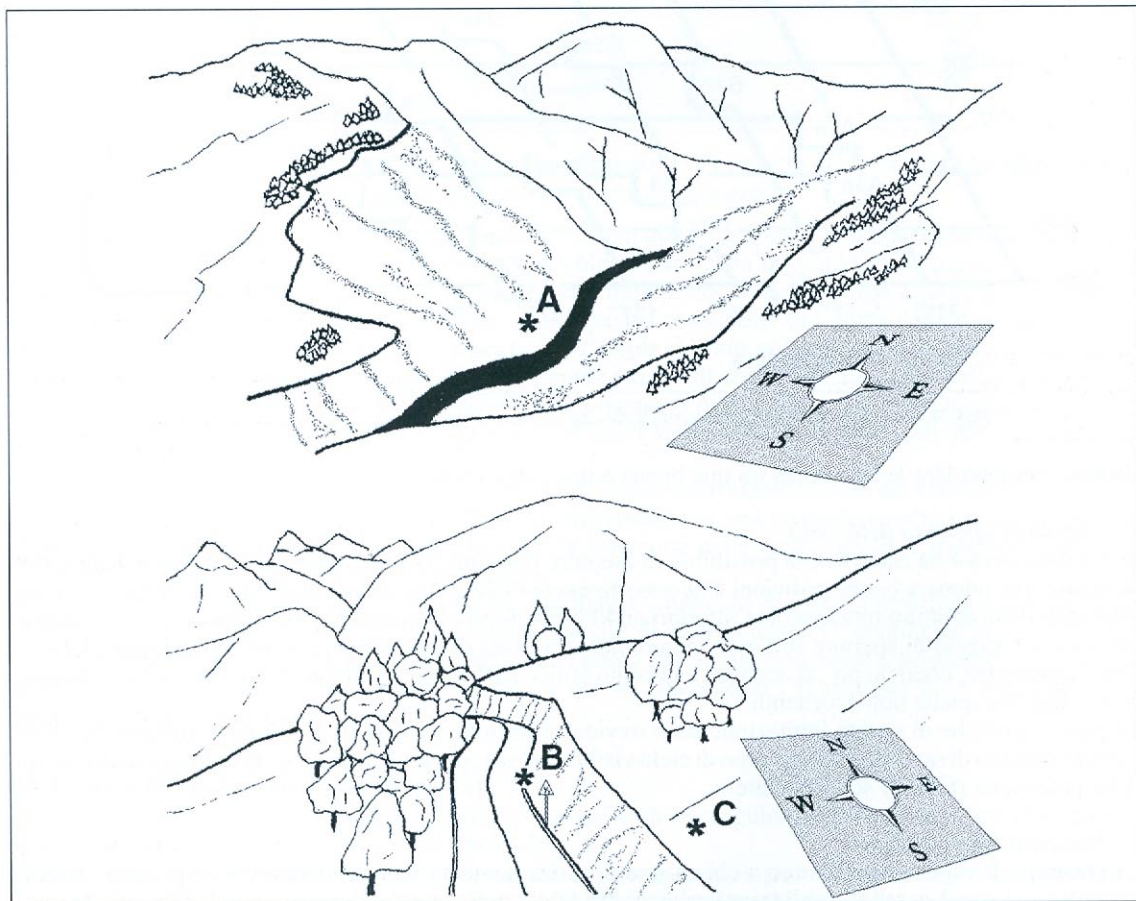


Fig. 4.3: esempi di situazioni pratiche, favorevoli (A,C) e sfavorevoli (B).

5 - Condizioni meteorologiche

I problemi di ricezione collegati al tempo meteorologico sono minori rispetto a quanto si potrebbe pensare, soprattutto utilizzando filtri statici per la media dei dati.

Ma ovviamente vanno evitati, se non per scrupolo quanto meno per una mera questione di praticità, i rilevamenti durante le precipitazioni più violente, durante le grandinate, durante le neviccate.

Va fatta invece una certa attenzione alla presenza di turbolenze elettromagnetiche (fulmini e saette) anche se a notevole distanza da dove si opera: in questi casi i dati raccolti vanno considerati quantomeno con sospetto. Anche un cielo parzialmente coperto da nubi in movimento, cariche di pioggia, va considerato un potenziale problema nei confronti di una corretta lettura dei dati.

6 - Altre possibili fonti di disturbo

Almeno in via del tutto teorica vanno evitati posizionamenti sotto linee di alta tensione, come pure vanno evitate le telefonate con il cellulare o le chiacchierate con il VHF o il CB rimanendo vicino al ricevitore, nell'attesa che questo esegua il posizionamento.

7 - Messa a regime

Il ricevitore, una volta acceso, va messo a regime, cioè bisogna aspettare il tempo necessario all'apparecchio per l'individuazione delle coordinate in cui si trova. È abbastanza difficile stabilire un tempo fisso da lasciare trascorrere prima dell'azionamento dei filtri statici: può variare da 300 secondi (limite minimo da rispettare sempre e comunque!)

a 30 minuti e dipende fondamentalmente se l'ultima volta che abbiamo usato il ricevitore eravamo lontano da dove siamo ora.

Quando il ricevitore aggancia almeno 4 satelliti in modo stabile per un paio di minuti consecutivamente allora siamo "a regime": qualsiasi ricevitore di fascia media fornisce comunque tutte le indicazioni necessarie riguardo ai satelliti utilizzati o in fase di acquisizione, all'interno dei suoi menù.

Teniamo conto che, volendo realmente essere sicuri di ottenere risultati affidabili, bisognerebbe attendere almeno una dozzina di minuti, tempo necessario al nostro ricevitore per aggiornare completamente l'almanacco delle Effemeridi.

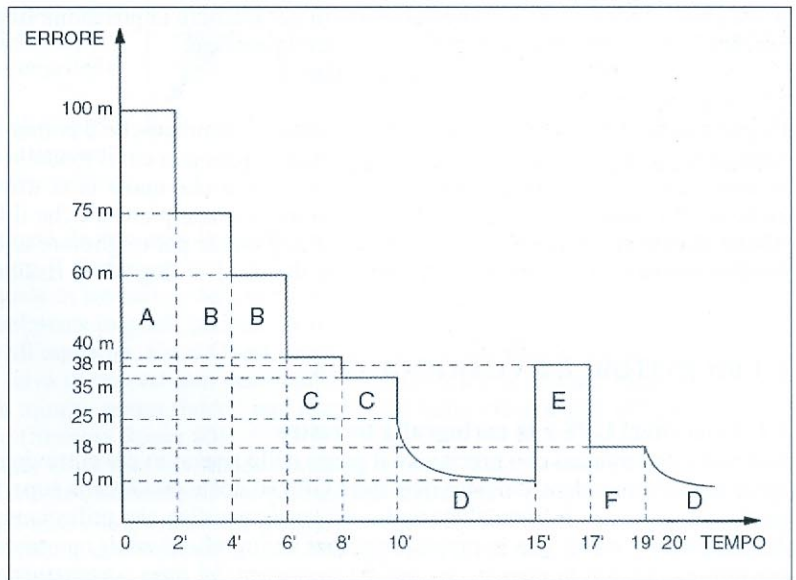


Fig. 4.4: Rappresentazione schematica di un possibile flusso di errore.

A titolo di esempio possiamo immaginare un diagramma (Figura 4.4) che rappresenti, in un possibile caso generale, il flusso dell'errore in funzione del trascorrere del tempo, tenendo presente che alcuni degli eventi indicati possono anche non verificarsi oppure possono accadere in diverso ordine.

- A) Il ricevitore ha acquisito almeno 3 satelliti. Prime coordinate fornite dallo strumento.
- B) Il ricevitore acquisisce dati relativi alle effemeridi dei satelliti. Ad ogni rinfresco delle effemeridi di ogni singolo satellite, migliora la precisione dei calcoli delle coordinate.
- C) Il ricevitore riconosce nuovi satelliti. Il software utilizza per i calcoli solo quelli che danno il miglior parametro GDoP.
- D) I filtri matematici lavorano con dati sufficientemente stabili, migliorando ulteriormente la qualità del dato.
- E) Un satellite, che permetteva un buon GDoP, esce dall'orizzonte dello strumento. Aumenta l'errore sulle coordinate, i filtri sul breve periodo riducono il degrado del dato.
- F) Entra nell'orizzonte dello strumento un nuovo satellite che riporta l'indice GDoP a un buon valore.

In generale i filtri matematici tendono a migliorare la precisione del dato, tendendo a portare il dato ad una situazione stabile e migliore per quelle condizioni di misura. Gli stessi filtri addolciscono sia i fronti di salita e discesa dei diversi eventi.

8 - Sbalzi di temperatura

L'elettronica dei nostri ricevitori portatili è semplice e a basso costo e non dispone di molti accorgimenti tecnici per affrontare situazioni limite. Un problema che può presentarsi è quello dell'utilizzo in acquisizione della nostra macchina in due ambienti attraverso cui si realizza un grosso sbalzo di temperatura. In questo caso è probabile che per un certo periodo di transito i dati forniti dal nostro posizionatore satellitare risultino errati.

Stiamo dunque molto attenti, ad esempio se in piena estate spostiamo il nostro palmare dalle immediate vicinanze di un ingresso da cui esce aria gelida a una zona qualche metro vicino, dove la temperatura locale è quella della media estiva... Una media di dati a cavallo di queste due zone potrebbe anche portare a qualche sgradita sorpresa.

9 - Due volte è meglio di una

Un'altra tecnica per mitigare i problemi sopra accennati è quella, in realtà molto banale, di fare due posizioni in due momenti diversi, a distanza di qualche ora, meglio ancora in giorni diversi. In questo modo si acquisiscono dati in condizioni atmosferiche, ionosferiche e di geometria del sistema diverse.

Se non ci sono stati i problemi sopra descritti, allora i due risultati ottenuti si discosteranno di un valore di pochi metri e possono essere mediati fra loro per ottenere la posizione finale.

Sarebbe buona abitudine adottare sempre questa pratica.

10 - A proposito della quota

La precisione che il GPS ottiene per le coordinate planimetriche è comunque sempre migliore della precisione della quota. Questo accade per l'approssimazione con cui il modello geodetico utilizzato dal ricevitore identifica il livello medio del mare. Per trovare a che quota ci si trova, in genere è meglio utilizzare qualche altro sistema, ad esempio l'altimetro tradizionale piuttosto che il GPS.

Alcuni ricevitori utilizzano la quota immessa dall'utente per migliorare ulteriormente i calcoli. Ovviamente bisogna essere certi del dato che si immette, altrimenti si degrada il risultato.

5. I RICEVITORI E LA CARTOGRAFIA

5.1. I ricevitori GPS e la cartografia terrestre

Una volta determinato con precisione il punto nello spazio in cui ci troviamo, insorgono altri due problemi: come fare comprendere al nostro ricevitore GPS su quale punto della superficie terrestre ci troviamo, trasferendo quindi questa informazione sulla cartina topografica che utilizziamo?

Teniamo conto infatti che le rappresentazioni cartografiche sono rappresentazioni planari del globo, e che per loro natura non lo possono quindi rappresentare del tutto correttamente, ma solo approssimativamente con una interpretazione grafica.

I geografi hanno sviluppato da tempo alcuni modelli matematici complessi, denominati geoidi, per simulare la forma del globo terrestre; ad esempio i nostri ricevitori GPS si rifanno generalmente al modello denominato WGS 84 (World Geographic System).

Essi quindi sono configurati per fornire le coordinate riferite a questo geoide. In linea generale, se non abbiamo altri riferimenti, possiamo utilizzare questa configurazione che va accettabilmente bene dappertutto; teniamo comunque in conto che i dati ottenuti potrebbero differire da quelli indicati dalla nostra carta anche di un centinaio di metri.

Conviene comunque selezionare sul nostro ricevitore GPS, ogni qual volta è possibile, l'ellissoide locale utilizzato per la stesura della carta topografica che stiamo consultando, scegliendolo fra uno di quelli contenuti nell'archivio dello strumento: i risultati saranno in questo modo molto più precisi.

Per il nostro scopo, possiamo considerare l'ellissoide alla stregua di un geoide semplificato, normalmente valido per una limitata porzione del globo terrestre. Questa informazione è di solito riportata ai bordi nella carta: la cartografia dell'Istituto Geografico Militare (IGM) compilata dopo il 1950 e la cartografia regionale italiana (CTR) si basano sul sistema ED 50 (European Datum 1950).

Un'ultima informazione: anche il fatto di aver scelto il geoide corretto per la zona in cui ci troviamo e per la cartografia che stiamo utilizzando, non ci rende immuni da errori.

Per quanto riguarda il sistema ED 50, ad esempio, nei casi più sfortunati possiamo incappare in un errore di

3 metri in direzione Est e di 8 verso Nord, dovuto principalmente alle approssimazioni che necessariamente hanno questi modelli matematici di rappresentazione della superficie terrestre.

Se il nostro GPS non ha in memoria il modello geodetico della carta con cui operiamo, possiamo recuperare dall'ente spaziale americano NIMA, tramite il suo sito Internet, i parametri correttivi per l'ellissoide in oggetto, e introdurli nello strumento tramite la funzione "user datum": leggeremo automaticamente la posizione corretta.

Passiamo ora al secondo problema. Come trasferire i nostri dati in un sistema di riferimento noto alla comunità, se vogliamo che anche altre persone possano utilizzarli?

I geografi hanno messo a punto da tempo una procedura per individuare univocamente qualsiasi punto della superficie terrestre; si tratta del noto sistema delle coordinate terrestri.

Due sistemi si sono imposti sugli altri: quello che utilizza coordinate in gradi, denominato anche geografico, e quello che utilizza coordinate metriche.

Nel primo, ogni punto è identificato da due angoli: quello tra l'equatore e il parallelo su cui ci troviamo, denominato latitudine, e quello tra il meridiano di riferimento, usualmente passante per l'Osservatorio di Greenwich, e il meridiano sul quale ci troviamo, denominato longitudine (Figura 5.1).

Queste misure sono espresse usualmente in gradi, (minuti) primi, (minuti) secondi, decimi di secondo (hddd° mm' ss, s^{ll}): Nord o Sud rispetto all'equatore, Est o Ovest rispetto al meridiano di riferimento.

Per semplificare un po' questa selva di numeri non decimali, frequentemente si trovano espresse anche in gradi, minuti primi, millesimi di minuto primo (hddd° mm.mmm'). In Italia viene anche utilizzato il meridiano passante per Monte Mario (Sistema Roma 40).

Una grossa semplificazione è stata introdotta ricorrendo a sistemi metrici. Tali sistemi si basano sull'adozione di reticolati speciali, usualmente chilometrici, che permettono una facile e inequivocabile determinazione del punto. A parte la complessità che sta alla base di questi modelli (che comunque non ci interessano direttamente), le semplificazioni che ne derivano all'utilizzatore non sono di poco conto: la determinazione è elementare, le misure sono unicamente in metri ed espresse con il sistema metrico decimale, i dati vengono espressi con le stesse modalità (Nord e Est) in qualunque parte del globo, i calcoli per correlare punti dalle coordinate note sono semplificati. Il sistema più utilizzato nel mondo occidentale è denominato UTM (Universale Trasversale di Mercatore); in Italia è anche utilizzato il sistema Gauss-Boaga, che si rifà al sistema Roma 1940.

Per finire, una notizia tranquillizzante: durante le escursioni potremo memorizzare la nostra posizione come più ci torna comodo; quando torneremo a casa, sarà il nostro GPS a trasformare automaticamente i dati nel sistema di coordinate e nell'ellissoide che più ci interessano!

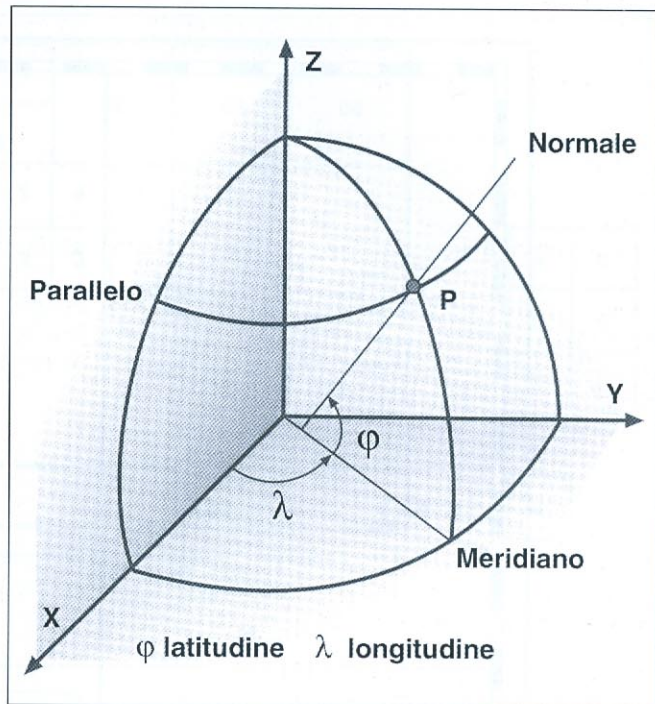


Fig. 5.1: coordinate geografiche di un punto posto sulla superficie terrestre

5.1.1 La cartografia in uso in Italia

In Italia, gli speleologi fanno soprattutto uso di due cartografie: quella emessa dall'IGM e quella emessa dalle Regioni (CTR).

Cartografia dell'Istituto Geografico Militare

La prima cartografia unitaria fu introdotta nel 1875, all'inizio con la stesura di fogli a scala 1:100.000 e in seguito di tavolette a scala 1:25.000; ogni foglio faceva capo a un proprio sistema di riferimento e non erano possibili legami con altri fogli, anche se adiacenti.

La cartografia italiana attuale, formalmente adottata a Roma nel 1940, ma applicata a partire dal 1948,

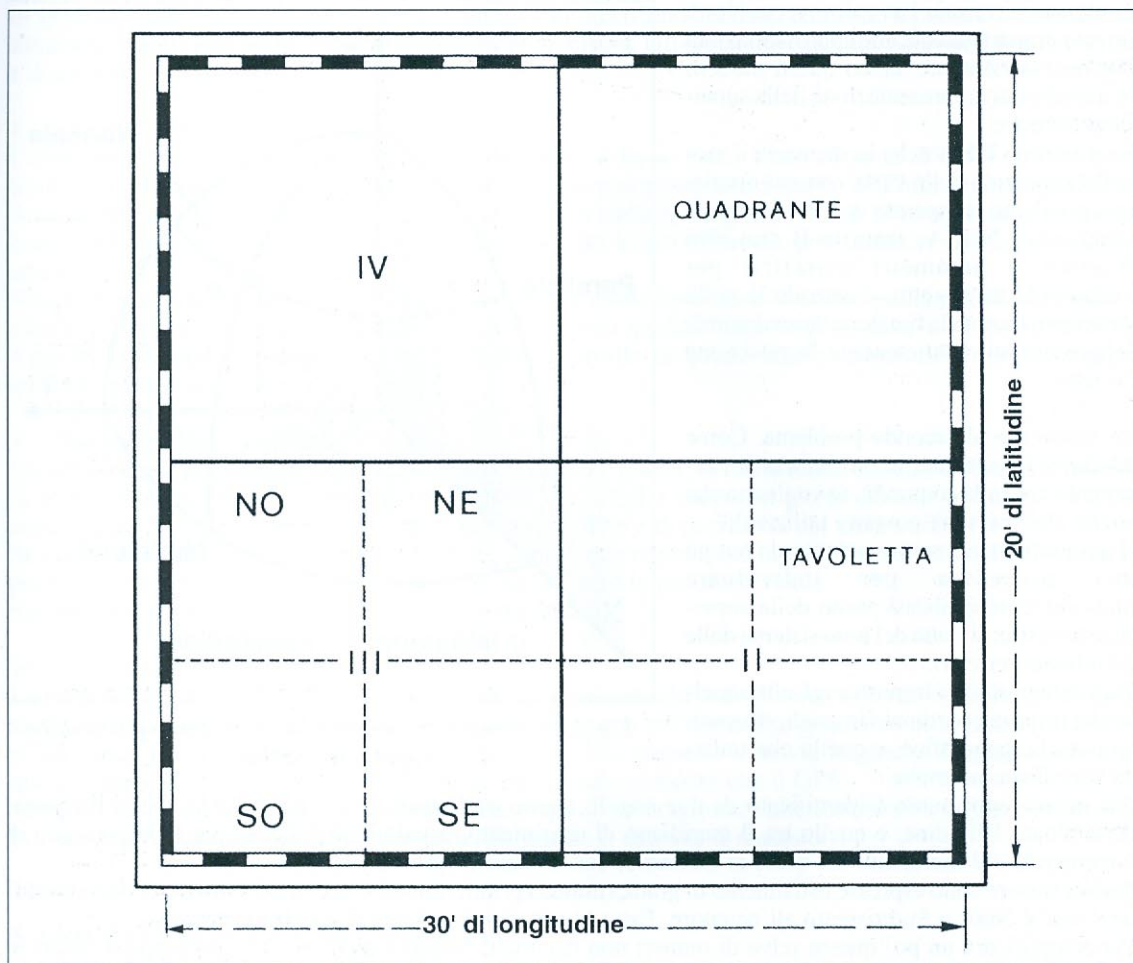


Fig. 5.2: cartografia IGM: suddivisione di un foglio a scala 1:100.000 in quadranti e tavolette

recepisce le proposte avanzate dal Prof. Boaga, geodeta responsabile dell'IGM al tempo; infatti, questa rappresentazione, che utilizza la rappresentazione di Gauss, è anche denominata Gauss-Boaga.

Le origini di questo sistema, ufficialmente noto come "Roma 40", sono rispettivamente il meridiano passante per Monte Mario, posto a $12^{\circ} 27' 08,40''$ dal meridiano di Greenwich e l'Equatore.

Ne deriva che un qualunque punto del territorio italiano, mentre per la latitudine si trova sempre a Nord, in termini di longitudine può trovarsi a Est (Friuli) o ad Ovest (Piemonte) del meridiano centrale.

La Carta topografica d'Italia dell'IGM, si compone di 285 fogli a scala 1:100.000, contraddistinti in primis da un numero arabo e secondariamente dal nome di una località importante compresa in carta; i fogli sono squadrate, con riferimento al sistema Roma 1940, ogni 30' per i meridiani e ogni 20' per i paralleli.

Il foglio è suddiviso in 4 quadranti, contraddistinti, procedendo da Nord a Ovest dal numero romano da I a IV: le cartografie corrispondenti ai quadranti non sono mai state emesse.

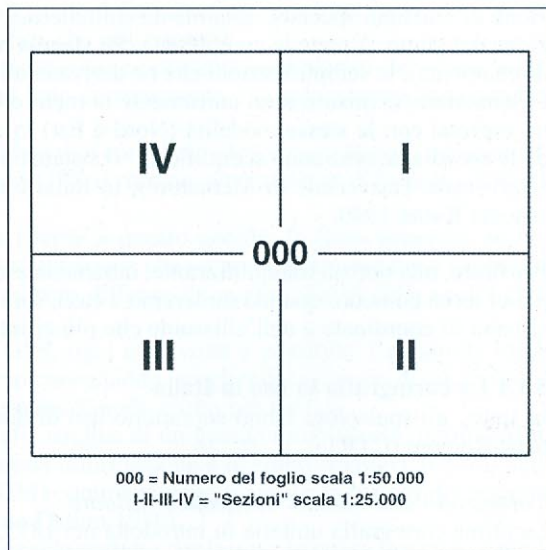


Fig. 5.3: inquadratura della nuova cartografia IGM in allestimento

Il quadrante è suddiviso a sua volta in 4 tavolette, contraddistinte dall'orientamento che assumono nel quadrante (NE, SE, SO, NO) e dal nome di una località importante compresa in carta (Figura 5.2).

La scala di rappresentazione è 1: 25.000 (1 mm corrisponde a 25 m): le tavolette sono state sicuramente le carte più utilizzate in passato dagli speleologi. Nel tempo, le tavolette sono state emesse in varie edizioni: è molto importante specificare l'edizione quando ci si riferisce ad una di queste.

Dal 1983, l'IGM ha promosso una nuova edizione della carta d'Italia a scala 1:50.000, a sei colori, avente un quadro d'unione diverso dal precedente. A causa della scala, è pochissimo utilizzata dagli speleologi per posizionare le grotte, e quindi non ne parliamo.

I fogli di questa rappresentazione, sono invece la base di una nuova famiglia di carte a scala 1:25.000 (Serie 892), tuttora in fase di allestimento: nell'aprile 2000 erano edite 743 "sezioni" su 1377. Ogni "sezione", a quattro colori, ricopre una zona di terreno più ampia rispetto alla classica tavoletta: all'incirca 150 Km².

Riportiamo in Figura 5.3 l'inquadramento di questa nuova cartografia.

Cartografia tecnica regionale

Quasi tutte le regioni italiane hanno curato l'edizione di carte tecniche regionali, molto dettagliate, a scala 1:10.000 (sezioni) o, addirittura, 1:5.000 (elementi); le carte sono tagliate sulla base della nuova cartografia IGM 1983 a scala 1:50.000 e variano leggermente da regione a regione. Ogni carta è contraddistinta da sei cifre: le prime tre dovrebbero indicare il numero del foglio IGM (a scala 1:50.000, non dimentichiamo!), la quarta e la quinta indicano la posizione della sezione all'interno del foglio, mentre la sesta la posizione dell'elemento. Per le carte a scala 1:10.000 (sezioni), la sesta cifra è 0. (Figura 5.4).

Molti enti, particolarmente i Comuni, si sono dotati di rappresentazioni ancora più dettagliate, le mappe, a scala 1:1.000 o 1:2.000, generalmente inquadrate all'interno delle sezioni. Teniamo presente che, di norma, le mappe non riportano le curve di livello.

Altre cartografie di dettaglio possono tornare utili agli speleologi che fanno uso di GPS: è essenziale che riportino l'ellissoide di riferimento e almeno le coordinate dei vertici. A titolo di esempio, per le regioni del Nordest, l'editore Tabacco edita aggiornatissime carte a scala 1:25.000 con sovrastampato il reticolato chilometrico UTM.

5.1.2. Le coordinate in uso in Italia

Ricorderete come la cartografia italiana prevedesse originariamente come assi di riferimento l'Equatore e il meridiano passante per Roma Monte Mario; a questi riferimenti fa capo un sistema di coordinate in gradi ed

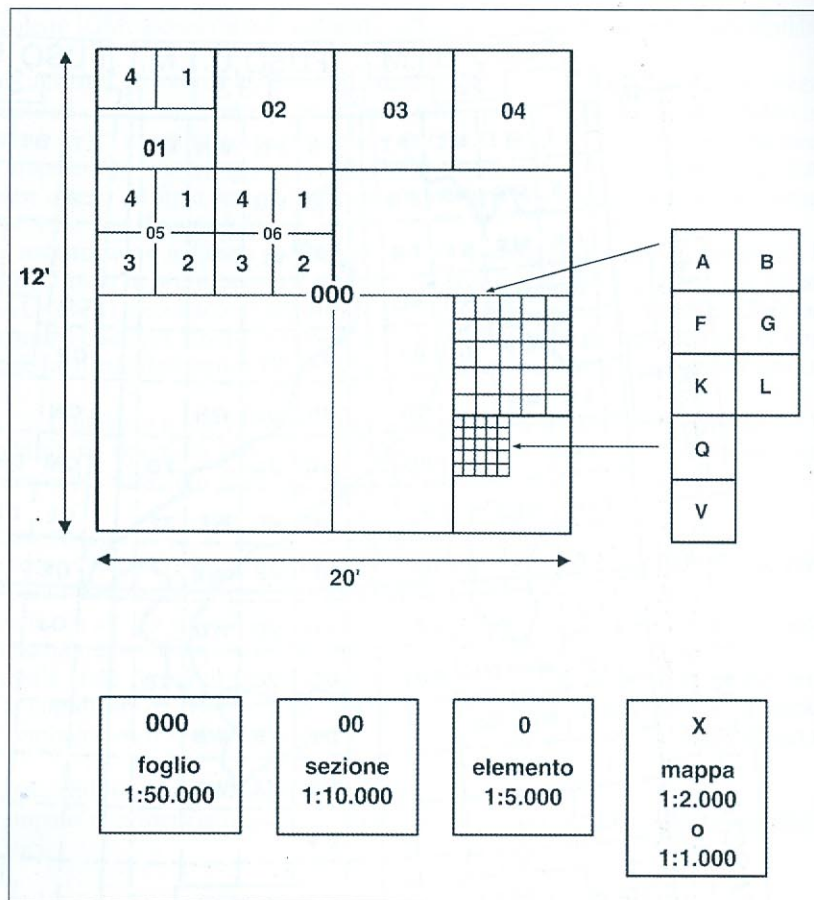


Fig. 5.4: posizione delle sezioni, degli elementi e delle mappe CTR nel contesto del foglio IGM a scala 1:50.000

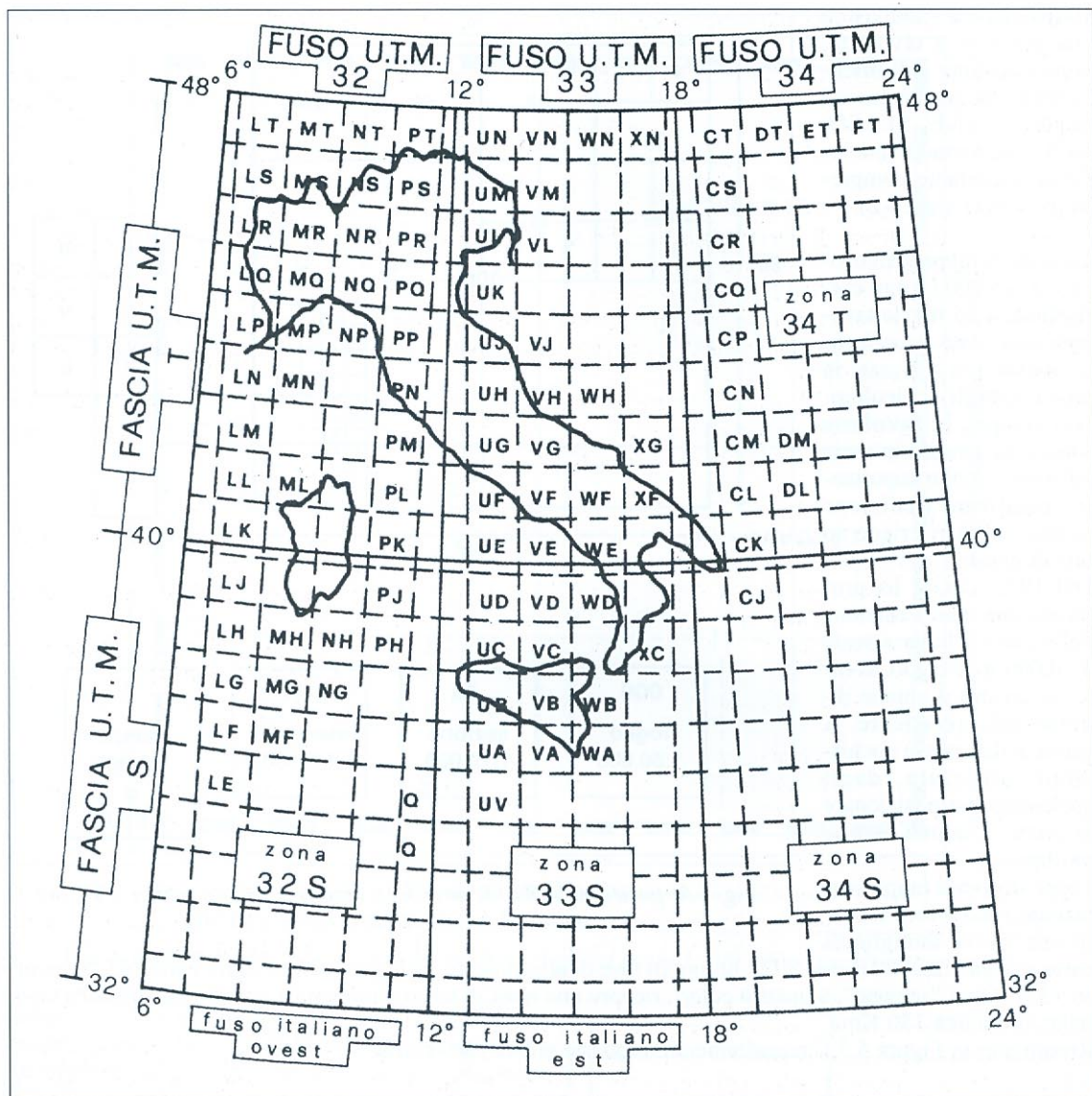


Fig. 5.5: collocazione dell'Italia nel sistema cartografico UTM

il reticolato chilometrico nazionale (sistema Roma 1940). Per quanto concerne le coordinate espresse in gradi, ne deriva che un qualunque punto del territorio italiano per la latitudine si trova sempre a Nord, mentre in termini di longitudine può trovarsi a Est (Friuli) o ad Ovest (Piemonte) del meridiano centrale. Il fatto che molte regioni si trovino a cavallo del meridiano, e le diverse modalità di calcolo, per quanto semplice, per i due settori, danno origine a frequenti errori nella determinazione delle coordinate.

Nel 1950 alcune nazioni dell'Europa occidentale, tra cui l'Italia, sottoscrissero un accordo di unificazione delle reti geodetiche; il riferimento centrale fu fissato a Potsdam, nei pressi di Bonn, mentre come assi di riferimento vennero assunti l'Equatore e il meridiano di Greenwich (Sistema ED50). Ne derivarono due conseguenze:

- 1) L'adozione di due altri sistemi di coordinate, tra cui il reticolato chilometrico UTM
- 2) le coordinate geografiche di Monte Mario subirono delle piccole variazioni

Ne consegue, ahimè per noi, che in Italia sono in uso almeno quattro sistemi di coordinate: gli speleologi ne usano, tutto sommato, tre! Passiamo ora a vederli nel dettaglio.

Coordinate chilometriche UTM

Fanno riferimento alla convenzione ED 50 e sono sempre presenti nei menù dei ricevitori GPS. Di valenza internazionale, sono molto utilizzate in campo militare. In passato, molti speleologi le utilizzavano per

posizionare le grotte sulle tavolette IGM: alcuni catasti regionali, ad esempio il Piemonte, ne raccomandano l'uso.

Per rappresentare la superficie terrestre, il sistema UTM suddivide il globo terrestre in 60 fusi dall'ampiezza di 6° di longitudine, identificandoli con un numero compreso tra 1 a 60; quindi, il globo è anche suddiviso nel senso dei paralleli in 20 fasce di 8°, identificate da una lettera da C a X. L'incrocio dei fusi e delle fasce determina le zone, elementi trapezoidali che vengono ulteriormente divisi in quadrati di 100 km di lato, identificati da due lettere; quest'ultimo artificio serve unicamente ai militari per operare con pochi numeri, onde evitare malintesi tra zone contigue (Figura 5.5).

In pratica, le coordinate di questo sistema indicano rispettivamente in ascissa la distanza di un punto, in metri, dal meridiano centrale del fuso e in ordinata (per l'emisfero N) la distanza dall'Equatore; per evitare numeri negativi o longitudine Ovest, al meridiano centrale di ogni fuso è stato attribuito il valore +500 km. Sulle tavolette IGM questo sistema è sempre riportato sotto forma di quadrettatura dal lato di 4 cm (1 km). Fanno eccezione poche vecchie tavolette destinate ad uso civile e ovviamente quelle precedenti all'adozione della convenzione ED 50.

Per quanto concerne le CTR, la situazione è più variegata: alcune riportano solamente le coordinate UTM dei vertici della carta, altre addirittura riportano ai bordi un simbolo (in Piemonte un segmento terminante con un pallino) in corrispondenza del rispettivo reticolato chilometrico.

Coordinate chilometriche Gauss-Boaga

Fanno riferimento alla convenzione Roma 1940: usualmente non presenti nell'archivio posizione dei GPS palmari, salvo ricorrere ad alcuni trucchi (vedi il capitolo con gli esercizi).

È un sistema utilizzato in passato su alcune carte IGM e da molti catasti regionali per posizionare le grotte sulle CTR. La rappresentazione ha molta affinità con le coordinate di tipo chilometrico UTM.

Raramente capiterà di incontrarle sotto forma di reticolo disegnato sulle tavolette IGM; tutte le tavolette recenti comunque riportano le coordinate dei vertici della tavoletta, evidenziando il reticolato chilometrico ai bordi di ogni carta, con il simbolo —● o —◁ a seconda che ci si trovi a Est o a Ovest del meridiano di Monte Mario.

È invece il sistema di coordinate chilometriche adottato dalle CTR.

Il reticolo è sempre sovrastampato o evidenziato ai bordi con opportuni simboli e, a volte, sono anche indicate le coordinate dei vertici.

Coordinate geografiche riferite al meridiano di Greenwich

Fanno riferimento alla convenzione ED 50: sono sempre presenti nell'archivio posizione dei GPS palmari. Sono abbastanza utilizzate ad esempio per operazioni di localizzazione e soccorso ad opera delle forze pubbliche, specie nel formato gradi, primi, millesimi di primi (hdd° mm.mmm'), ma hanno scarso interesse per gli speleologi.

Sulle tavolette IGM vengono indicate solo nelle edizioni più recenti, in colore violetto, ai vertici della carta. La determinazione manuale su queste carte è piuttosto laboriosa.

Sulle CTR il problema è perlomeno semplificato, in quanto i bordi sono numeri interi, essendo riquadrate su questo sistema. A seconda della regione, potremo trovare le indicazioni solo dei vertici, mentre se saremo più fortunati potremo addirittura trovare ai bordi una ripartizione di primo in primo.

Coordinate geografiche riferite al meridiano di Monte Mario

Fanno riferimento alla convenzione Roma 1940: non presenti nell'archivio posizione dei GPS palmari. L'uso ne è raccomandato dal catasto nazionale della Società Speleologica Italiana, e quindi, purtroppo, sono molto utilizzate dagli speleologi.

Alcune vecchie tavolette riportano direttamente il reticolato in primi; a fianco troviamo stampato anche un coordinatometro che facilita le operazioni di posizionamento. Facciamo attenzione a verificare l'ellissoide di riferimento della carta.

Tutte le tavolette attuali riportano le coordinate dei vertici e una serie di tratti pieni e vuoti, ai bordi della carta, che permettono di disegnare manualmente un reticolo con distanza un primo.

Con gioia degli speleologi, raramente sulle CTR è riportato questo tipo di coordinate.

6. APPLICAZIONI IN CAMPO SPELEOLOGICO

6.1. Errori del metodo

Come ben sa chi opera in campo scientifico, ogni misura sperimentale è affetta da errori.

Il problema è talmente conosciuto e importante che, ogni qual volta viene messo a punto uno standard di

misura, l'ente proponente provvede a far effettuare varie misure in diversi laboratori. La dispersione dei risultati avuti è un indice macroscopico dell'interazione dei vari errori possibili, e quindi dell'attendibilità della misura.

Classicamente, gli errori vengono suddivisi in due grandi famiglie: errori accidentali ed errori sistematici. Nel nostro caso, ci è più comodo raggrupparli in due classi meglio gestibili dallo speleologo: quelli effettuati dall'operatore e quelli effettuati dal sistema.

Diamoci ora un'occhiata più da vicino e confrontiamoli con le precisioni richieste dalla pratica speleologica.

6.1.1. Errori dell'operatore in fase di acquisizione dei dati

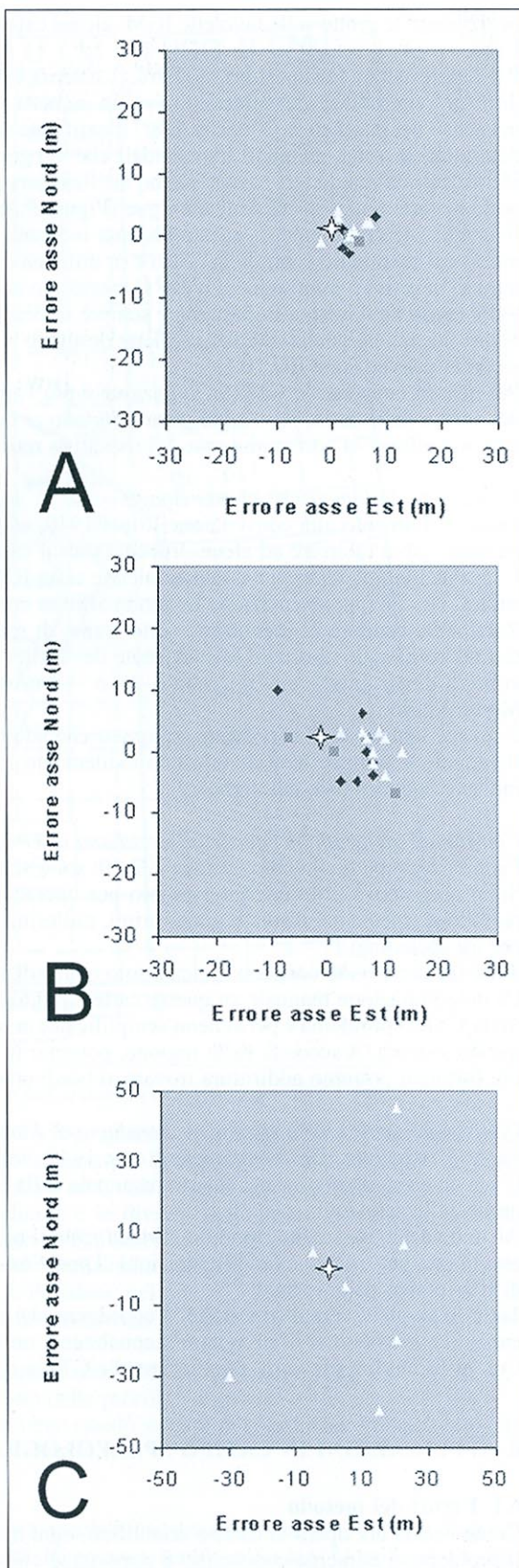
Non considereremo qui le disattenzioni o le cantonate accidentali: si evitano facilmente con un po' di attenzione. In generale questi errori possono essere molto vari e anche tragicomici: impostazione di unità di misura errate, errata taratura dell'altimetro o della bussola, sistema di coordinate o mapping datum impostati nel GPS non confacenti con la carta in uso, errata trascrizione del punto, modifica dei dati acquisita da parte di estranei (di norma, allievi del corso), ecc. Usualmente di questi errori ci si accorge facilmente, in quanto, nel 99% dei casi, i dati ottenuti sono senza senso.

Più subdoli sono gli errori dovuti a riflessione o attenuazione del segnale; nel primo caso ne sono principalmente responsabili le pareti rocciose, nel secondo la vegetazione. Nei rari casi in cui ci siamo incappati, abbiamo riscontrato errori di posizionamento, dovuti a multipath del segnale, fino a circa 600 m; l'attenuazione dovuta a foglie e pessima posizione del ricevitore ci ha portato fuori zona fino a una decina di chilometri. Ovviamente, questi posizionamenti sono del tutto inaccettabili nella prassi speleologica.

Ragionevolmente, si può porre rimedio adottando le seguenti precauzioni:

- Verificare continuamente sul GPS la dispersione dei dati di acquisizione. Quasi tutti i ricevitori hanno una funzione che valuta l'accuratezza del segnale acquisito, quali la figura di merito (FOM) che indica il raggio di un ipotetico cerchio in cui cade il 66 % dei punti determinati, o l'indice di diluizione della precisione PDoP. Tanto più piccolo è questo valore, tanto maggiore è la probabilità di una corretta acquisizione.
- Utilizzare, se presente nello strumento, la funzione media, particolarmente efficace quando c'è di-

Fig. 6.1: *Dispersione nell'acquisizione dei dati con diversi modelli di GPS palmare. Condizioni di acquisizione ottimale (A), discreta (B), con S/A attivata (C)*



spersione dei dati.

- Effettuare due letture, da posizioni diverse, spostandosi di qualche decina di metri dall'ostacolo. Nel posizionare il punto, sarà ovviamente necessario tenere conto degli spostamenti che avremo effettuato. Se i dati delle due acquisizioni non sono congrui, almeno una delle due è errata.

Anche l'utilizzo di una antenna esterna, magari con un buon guadagno e posizionata opportunamente, non può che migliorare l'acquisizione del segnale.

Oltre a mettere in pratica i consigli sopradetti, cui abbiamo specificatamente dedicato il capitolo 4, in fase di acquisizione non possiamo fare altro per diminuire l'errore.

6.1.2 Errori di sistema

L'insieme dei vari fattori che possono generare errori in fase di acquisizione sono stati analizzati già nel paragrafo 2.4.2; operando correttamente, ci attendiamo quindi un errore di posizionamento tra i 4 e i 10 m. Se dovremo riportare su una carta topografica il punto acquisito, all'errore di posizionamento potrebbe aggiungersi l'errore di conversione tra il geode WGS84 e l'ellissoide in uso alla carta.

L'errore massimo in cui possiamo incappare in Italia è:

<i>Tipo di carta</i>	<i>Mapping datum usato</i>	<i>Errore asse E-O (m)</i>	<i>Errore asse N-S (m)</i>	<i>Errore quota (m)</i>
IGM, CTR	E.D. 50	3	8	5
IGM, CTR	Roma 1940	25	25	25
Tabacco, Kompass	E.D. 50	3	8	5

Come si vede, ove possibile, conviene quindi sempre operare con il Mapping Datum E.D. 50, anziché Roma 1940.

Per scendere al concreto, centinaia di acquisizioni in diverse località dell'Italia settentrionale, con una decina di GPS palmari di diverso modello, ci hanno permesso di verificare la situazione che riportiamo in tabella. È da notare che sono stati utilizzati, quale riferimento, punti riportati sulle CTR a scala 1:10.000 del Friuli, della Liguria, del Piemonte e della Lombardia.

<i>Condizioni di acquisizione</i>	<i>Dispersione acquisizione dati (FOM)</i>	<i>Errore medio¹</i>	<i>Errore altimetrico²</i>
<i>Apertura del cielo ottima, meteo uniforme</i>	<i>4-6 m</i>	<i>3-7 m</i>	<i>2-16 m</i>
<i>Apertura del cielo discreta, meteo non uniforme</i>	<i>8-18 m</i>	<i>5-15 m</i>	<i>2-16 m</i>
<i>Apertura del cielo ottima, uniformità meteo, S/A attivata</i>	<i>12-20 m</i>	<i>10-50³ m</i>	<i>5-40³ m</i>

Note Tabella 1 Dispersione in cui cade il 70% delle determinazioni

2 GPS non dotati di altimetro barometrico

3 Con funzione di automeia attivata

La cosa, è resa meglio in Figura 6.1, dove sono presentati tre casi di dispersione nell'acquisizione dei dati, calcolati con condizioni di posizionamento ottimali (caso A), con condizioni di posizionamento discrete (caso B), ed infine in presenza di S/A con funzione automeia attivata (caso C).

In conclusione, possiamo affermare che operando correttamente ci porteremo a casa un dato con un errore di posizionamento dell'ordine dei 5-10 m e un errore sulle quote di 5-20 m (2-5 m se opereremo correttamente con un GPS munito di altimetro barometrico).

Attenzione, però: queste osservazioni valgono a partire da maggio 2000, da quando cioè il ministero della difesa americano, ha disabilitato l'errore di S/A. Se i dati sono stati acquisiti precedentemente, operando al meglio e con un sistema di accumulo e media dei dati, potremo attenderci un errore di posizionamento di 25-40 m; se non abbiamo provveduto a mediare i dati acquisiti, l'errore può arrivare fino a 120 m.

Vediamo ora in che ambito possiamo utilizzare questi dati in campo speleologico.

6.2 Utilizzo dei dati in campo speleologico

Posizionamento di una grotta sulla carta topografica e utilizzo del dato per fini catastali.

Alla Scuola Militare Alpina, l'insegnante di topografia insisteva nel ricordarci che per fare il punto su una tavoletta IGM, una persona dotata di vista d'aquila commetteva un errore di almeno 0.2 mm (5 m in termini reali!) nel valutare la distanza sul coordinatometro e almeno altri 0,2 mm nel posizionare sulla carta il punto, pur dotandosi di matita molto appuntita. Chi poi doveva utilizzare un punto così posizionato, ricorreva nel medesimo tipo di errore. Quindi, nel determinare le coordinate di un punto su una tavoletta IGM, era inutile spingerci a precisioni superiori ai 10 m.

Se estendiamo lo stesso discorso alle sezioni CTR (scala 1: 10.000), la soglia di errore passa a 4 m, 2 m usando gli elementi, che sono a scala 1:5.000; di ciò, come speleologi, dobbiamo tenere conto, visto che molti di noi utilizzano ancora le gloriose tavolette IGM, e che l'attenzione posta in genere a queste operazioni (la vista d'aquila...) non è poi la massima.

Le coordinate determinate tramite GPS, ovviamente, non richiedendo un passaggio su carta, ci permettono, per cominciare, di evitare questo tipo di errore.

La precisione richiesta dai vari catasti speleologici regionali per posizionare l'ingresso di una grotta è piuttosto variegata, variando da ente a ente. In alcuni casi si richiede una precisione di 25 m, in altri che l'ingresso sia posizionato strumentalmente, con tacheometro o con una poligonale tirata a partire da un punto riportato sulla sezione o sull'elemento della CTR, utilizzando bussola e clinometro.

L'errore atteso nel primo caso non supera 1 o 2 metri; ma se le coordinate dei punti di riferimento sono state ricavate graficamente dalla carta, come capita nella maggior parte dei casi, possiamo aggiungerci almeno altri 2-4 metri.

Nel secondo caso, l'errore dipende fortemente dalla estensione della poligonale: circa 2 m per ogni 100 m di lunghezza. Bisogna poi aggiungere la solita indeterminazione legata al posizionamento dell'origine (la vista d'aquila...). Per 200-300 m di poligonale (caso medio), possiamo quindi attenderci un errore di 6-10 m.

Risulta quindi evidente che la precisione di un posizionamento ottenuto attraverso un GPS palmare, utilizzato scientemente, è equivalente (se non migliore...) a quella fornita da poligonali esterne con bussola e clinometro; è di poco inferiore a quella ottenuta con un tacheometro, quando la poligonale o triangolazione si appoggia a punti con coordinate ricavate graficamente dalla cartografia CTR. Teniamo altresì presente che, quando si opera con precisioni di questo ordine di grandezza, le attenzioni e le precauzioni da adottare escono dal bagaglio tecnico del comune speleologo. Pensateci: quanti sono gli speleo del nostro gruppo che sanno usare un tacheometro?

Se poi la cartografia di riferimento è costituita da tavolette a scala 1: 25.000, il risultato fornito dal GPS è più che attendibile.

È anche la volta buona per mettere in pensione la tecnica di triangolazione con bussola, un classico dei corsi di speleologia: a volte mi chiedo quanti degli istruttori che la insegnano l'abbiano mai verificata sul campo, visto che l'errore che fornisce, quando va bene, parte dalla ventina di metri in su. Sicuramente l'uso del GPS eviterà nuovi posizionamenti "di fantasia", posizionamenti che affliggono un po' tutti i catasti speleologici. Un ulteriore vantaggio è che lo speleologo, a rigore, può operare anche in assenza di cartografia del luogo; comunque, sconsigliamo caldamente di adottare questa prassi.

Altro discorso vale invece per l'altimetria: solo l'opportuno impiego di GPS dotati di altimetri barometrici può fornire quote con un errore di ± 3 m, e quindi di un certo interesse per l'accatastamento dei dati. Con altri GPS, è meglio se lasciamo stare!

Concludiamo questo paragrafo riportando questa informazione, per certi versi, emblematica.

Il catasto regionale Friuli-Venezia Giulia ha in corso il posizionamento degli ingressi di tutte le grotte, mediante tecnica DGPS. I dati finora determinati, confrontati con quelli ottenuti con tacheometro, o tecniche equivalenti, mostrano differenze per un consistente numero di grotte di 3-5 m, per un secondo fascio di 6-9 m, mentre per un certo numero di grotte la differenza è di 11-14 m!

Sorge spontanea una domanda: ma quanto sono affidabili le CTR in uso?

Ricerca di una grotta posizionata precedentemente con GPS

Nessun problema particolare si pone in questa fase, se non tenere presente che il punto indicato dal GPS potrebbe distare dal punto reale dai 5 ai 20 metri, nei casi più sfortunati. Guardiamoci intorno, mentre continueremo a interrogare il nostro GPS.

Ricerca di una grotta con dati di letteratura o di catasto

Ammettendo che lo speleologo che l'ha posizionata in passato non sia incorso in qualche colossale abbaglio, occorre tener conto dell'indeterminazione dovuta alla cartografia usata in origine e al metodo di posizionamento utilizzato al tempo.

Quindi ci aspetteremo, nel trovarla, questa indeterminazione:

Grotta posizionata con tacheometro o DGPS: 5-12 m

Grotta posizionata con poligonale: 5-20 m

Grotta posizionata con tacheometro o poligonale su carta al 25.000: 10-30 m

Grotta posizionata a "occhio" su carta al 25.000: 10-100 m (e oltre...), in funzione dell'occhio del collega che l'ha posizionata. Se questo era un bravo topografo, potremo aspettarci 10-40 m.

Verifica della precisione del rilievo di una grotta con due o più ingressi.

Se non disponiamo di una carta dettagliata, o siamo pigri, il ricevitore GPS ci permetterà di verificare la correttezza del rilievo interno o, quantomeno, della posizione relativa dei vari ingressi. Se la poligonale della grotta è stata sviluppata a computer, avremo un riscontro immediato.

A rigore, la distanza tra gli ingressi dovrebbe essere di almeno 700 m per avere una attendibilità significativa (14 m) per entrambe le tecniche: infatti, un rilievo speleologico è ritenuto attendibile quando la poligonale ha un errore che non supera il 2%. In realtà possiamo operare con distanze ben minori, in quanto, trattandosi di misure relative, molti errori si compensano data la vicinanza dei due punti e quindi la somiglianza dei disturbi ambientali che affliggono la misura. Ovviamente effettueremo le misure nel più breve lasso di tempo possibile, con lo stesso GPS; possibilmente sviluppiamo il tutto per via matematica, e non attraverso posizionamento dei punti sulla carta.

Potremo addirittura toglierci un'altra curiosità: se il rilievo topografico è corretto, saremo in grado di valutare quanto è l'errore indotto dall'uso del Nord magnetico rispetto a quello geografico.

7. ESERCIZI

7.1. Setup del ricevitore GPS

Prima di partire a posizionare grotte o a ricercarle, ci conviene ovviamente predisporre lo strumento all'uso, standocene comodamente al calduccio di casa. Usualmente le cose da fare sono:

Firmware: se abbiamo un cavetto per collegare il nostro ricevitore al computer, conviene ogni tanto aggiornare il firmware del nostro strumento. Molti produttori lo mettono gratuitamente a disposizione attraverso il loro sito Internet.

Ora: se ci da fastidio operare con l'ora internazionale di Greenwich, correggiamola (sempre che il nostro strumento ce lo permetta): usualmente si introduce la differenza di fuso orario, oppure si sceglie una località di riferimento importante (Roma, Parigi, Berlino...)

Unità di misura: vogliamo operare con miglia, piedi, pollici? Allora non tocchiamo nulla. Altrimenti specifichiamo allo strumento che vogliamo operare con il sistema metrico decimale, intervenendo nei campi distanza, velocità, angoli, altezza, pressione. Non è detto che tutte queste funzioni siano comprese nel nostro ricevitore GPS.

Tarature: se al nostro ricevitore GPS è associata una bussola magnetica, ricordiamoci di tararla su un piano, ovviamente lontano da metalli e da forti campi elettromagnetici; in alcuni casi la taratura viene persa ad ogni cambio batterie. Se al suo interno c'è un altimetro barometrico, effettuiamo la taratura sul luogo dell'uscita, ripetendola frequentemente con l'aiuto della carta topografica (più volte nell'arco della stessa giornata).

Mapping Datum: inseriamo quello idoneo alla carta che utilizziamo. Per l'Italia, sia che utilizziamo le tavolette IGM o le Carte Tecniche Regionali, andrà bene ED 50. Se non sappiamo quale sia il modello geodetico migliore per la zona in cui ci troviamo, lasciamo il WGS 84: in questo caso però, se dobbiamo posizionare i punti rilevati su carta, aspettiamoci errori anche di un centinaio di metri.

Sistema di posizionamento (le coordinate): se i dati non dovranno essere riportati su carta e serviranno solo per l'orientamento personale non ha importanza cosa sceglieremo. Se dovremo posizionare dei punti su una carta, scegliamo il sistema di coordinate utilizzato dalla carta: ove possibile, ovviamente daremo la preferenza ai sistemi chilometrici, più semplici da gestire. Usualmente, per l'Italia conviene scegliere il sistema UTM.

Inizializzazione: se il nostro GPS è nuovo, o se ci siamo spostati di varie centinaia di chilometri da quando abbiamo effettuato l'ultima lettura, noteremo che saranno necessari parecchi minuti prima che lo strumento sia in grado di calcolare la propria posizione; per evitare di effettuare questa inizializzazione mentre siamo in equilibrio precario su un albero o su uno sperone roccioso, ci conviene effettuarla prima dell'uscita.

Facciamolo se possibile in luogo aperto, con ampia porzione di cielo visibile per renderla più veloce. Alcuni ricevitori possono essere "aiutati" in questo lento processo, indicando la nazione in cui stiamo operando: questo permetterà loro di concentrare la ricerca solo su alcuni satelliti, guadagnando parecchio tempo.

7.2 Posizionare e memorizzare un punto

Individuato il punto che intendiamo posizionare (speriamo sia l'ingresso di una nuova grotta!), portiamoci sopra, accendiamo il ricevitore GPS e diamo un'occhiata intorno.

C'è una buona apertura sul cielo? Se è così, sullo schermo appariranno numerosi satelliti e il loro segnale (se il nostro modello lo visualizza) sarà piuttosto intenso.

Ricordiamoci sempre di verificare che la posizione dei satelliti agganciati generi un cono di ampio volume, quindi controlliamo che sia basso l'indice di diluizione della precisione geometrica (GDOP, FOM), oppure verifichiamo noi stessi, sul nostro ricevitore, la posizione dei satelliti utilizzati al momento.

Solo ora chiediamo al ricevitore GPS di memorizzare la posizione. Non scordiamoci di associarle un nome che ci aiuterà a ritrovare i dati, ed eventualmente un simbolo; se il nostro strumento dispone della funzione di media (average) attiviamola e lasciamola funzionare per un paio di minuti prima di salvare il punto.

A seconda dello strumento che possediamo, trascriviamo sul nostro taccuino di campagna: data, ora, nome del punto, errore di posizionamento, quota. Ricordiamoci che pochi ricevitori memorizzano l'intera serie dei dati visualizzati sul display!

Per scrupolo, al termine dell'acquisizione verifichiamo con la coda dell'occhio che l'errore di posizionamento non sia nel frattempo schizzato alle stelle e se siamo dei tipi precisi, ripetiamo l'operazione più avanti nel tempo. Se i risultati sono confrontabili, mediamoli; se non lo fossero, con i dati rilevati sul taccuino di campagna potremmo essere già in grado di scartare uno dei due valori.

La copertura celeste è sconveniente? Diamo una occhiata con attenzione allo schermo, vediamo in quale direzione sono i satelliti non agganciati e confrontiamoli con gli ostacoli del terreno. Quasi sempre troveremo una posizione a breve distanza più aperta: magari ci sono un albero o una parete proprio sulla perpendicolare dell'ingresso.

In questo caso il gioco è fatto! Ricordiamoci di annotare sul quaderno di campagna la differenza di quota tra l'ingresso e il punto in cui abbiamo fatto la posizione. Se il punto che abbiamo posizionato è un po' distante, muniamoci di pazienza: dobbiamo anche misurare la distanza, la direzione e la pendenza con rotella metrica, clinometro e bussola (alcuni ricevitori GPS l'hanno incorporata), per le opportune correzioni.

La copertura celeste è disastrosa, siamo in una valle troppo stretta? Peccato, ma dobbiamo affidarci ai mezzi classici, quali una triangolazione o la stesura di una poligonale fino a un punto noto (se proprio non c'è altro, magari un punto posizionabile con il ricevitore GPS).

Un'altra precauzione da adottare: siamo nei pressi di una parete rocciosa? Attenzione ai segnali riflessi! Ripetiamo il posizionamento due, o anche tre volte, spostandoci almeno di una quindicina di metri dalla parete. Prendiamo nota della direzione e della distanza delle nostre due stazioni dall'ingresso, controlliamo subito, almeno approssimativamente la validità dei due posizionamenti e lasciamo per casa il lavoro di stesura finale.

Un'ultima questione importante: la quota dell'ingresso. Come abbiamo discusso prima, la quota fornita dal GPS deve ritenersi puramente indicativa, e quindi non è utilizzabile per il posizionamento della grotta.

Se usiamo un altimetro barometrico, o un GPS munito di questa funzione, possiamo agire in tre modi:

- 1) Nel corso della giornata procediamo più volte a tarare l'altimetro, utilizzando i punti quotati riportati sulla carta (sistema più approssimativo)
- 2) Nel corso della giornata quando passiamo su un punto quotato annotiamo la quota indicata dall'altimetro, quella del punto quotato e infine l'ora. A casa, potremo facilmente risalire all'errore dell'altimetro in funzione dell'ora, e quindi correggere del dovuto le letture effettuate.
- 3) Lasciamo in macchina un barometro/altimetro munito di dispositivo di memorizzazione (alcuni orologi della Casio sono muniti di questa funzione), che ci registrerà l'ora e la rispettiva variazione di pressione/quota. A casa ricaviamo la funzione e correggiamo di conseguenza le quote lette sull'altimetro.

Rimarremo sorpresi dalla precisione fornita dai metodi 2 e 3 che, nel caso si sia operato correttamente, si attesta sui 2-3 m.

Un altro buon sistema per la determinazione della quota consiste nel misurare con il clinometro le pendenze

di altri punti topografici quotati riportati in carta; usualmente si faranno almeno tre letture. Una volta riportata in carta la nostra posizione, si ricaverà dalla stessa la distanza planimetrica e con una semplice correlazione trigonometrica sarà possibile avere il dislivello dal punto quotato:

$$\text{dislivello dal punto quotato} = \text{distanza planimetrica} \cdot \text{tangente della pendenza}$$

Determinata la quota assoluta, si mediano i valori, quando congruenti. Ovviamente, più i punti sono vicini, migliore è il nostro clinometro (ottimo il modello Abney), minore è il dislivello, più alta sarà la precisione ottenuta.

7.2.1. Riportare su una cartografia IGM e CTR le coordinate memorizzate nel corso di una uscita.

Se, come consigliato, abbiamo memorizzato nel Mapping Datum il sistema ED50 e il posizionamento è stato fatto con coordinate UTM, non ci sono problemi, altrimenti ci conviene settare ora il ricevitore GPS con queste funzioni.

Per le tavolette IGM, il reticolato IGM è già tracciato: andiamo nella memoria del GPS, e richiamiamo il punto salvato. Se abbiamo effettuato più di una memorizzazione, e i dati sono congruenti, mediamoli. Posizioniamo il punto con l'aiuto di un coordinatometro stampato a destra sulla carta. Noteremo che il GPS riporta la zona, ma non il quadrato di 100 km di lato: si ovvia facilmente usando tutte le cifre riportate in carta, anche quelle in caratteri più piccini, scritte solo sui primi numeri del reticolato chilometrico e che rappresentano la distanza in centinaia di chilometri dal fuso centrale e la distanza dall'equatore. Se non sappiamo come fare, le modalità per posizionare un punto sono descritte sul fianco destro della carta, sia in italiano che in inglese; oppure guardiamo in appendice.

Per le carte CTR, di solito risulta prima necessario tracciare con matita e righello il reticolato UTM, utilizzando le coordinate riportate ai vertici, oppure i trattini pertinenti a questo reticolato disegnati ai bordi della carta; successivamente posizioniamo con il sistema descritto sopra il punto.

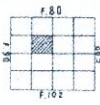
Se ci interessa utilizzare il reticolato chilometrico Gauss-Boaga, usualmente già riportato in carta, possiamo agire in uno di questi quattro modi:

- 1) Se disponiamo di un programma di calcolo adeguato, trasformeremo direttamente le nostre coordinate UTM in quelle nazionali del sistema Roma 1940. Teniamo presente che molti di questi programmi sono validi solo per aree ristrette, e possono fornire un errore fino a 6 metri.
- 2) Altrimenti possiamo utilizzare le tabelle correttive fornite dall'IGM, che nell'area del foglio a scala 1:100.000 garantiscono l'approssimazione al metro. Molte carte riportano ai margini i parametri correttivi Est e Nord per passare da un sistema all'altro. E' sicuramente il sistema più noioso, ma anche il più corretto.
- 3) Impostiamo sul nostro GPS questi parametri:

User Datum DA: -251
(Datum utente) DF: 0.14192702
 DX: -225
 DY: -65
 DZ: +9

User Grid Se siamo nella Zona 1 (a Ovest di Monte Mario)
(Reticolato utente) Long. Origine: 9°00.0
 Falso est: 1.500.000 m
 Scala: 0.9996
 Falso Nord: 0 m

 Se siamo nella Zona 2 (a Est di Monte Mario)
 Long. Origine: 15°00.0
 Falso est: 2.520.000 m
 Scala: 0.9996
 Falso Nord: 0 m



Certosa di Pesio

F° 91 della Carta d'Italia

CERTOSA DI PESIO

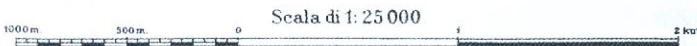
Le coordinate dei vertici di questa carta nel reticolato italiano (proiezione Gauss-Boaga, ellissoide internazionale, orientamento a M. Mario 1940) sono le seguenti:

FUSO OVEST

N. O. } E= 1386508	N. E. } E= 1396486
} N= 4900694	} N= 4900528
S. O. } E= 1386347	S. E. } E= 1396340
} N= 4691439	} N= 4891273



4° 49'



Scala di 1: 25 000

Fig. 8.1: esempio di tavoletta IGM

RETICOLATO CHILOMETRICO
NELLA PROIEZIONE CONFORME
UNIVERSALE TRASVERSA MERCATORE

Sistema U. T. M.

(Dati europei 1950)

ORIGINE DELLE COORDINATE :

Coordinate Est : il meridiano centrale del fuso con valore convenzionale + 500000 m

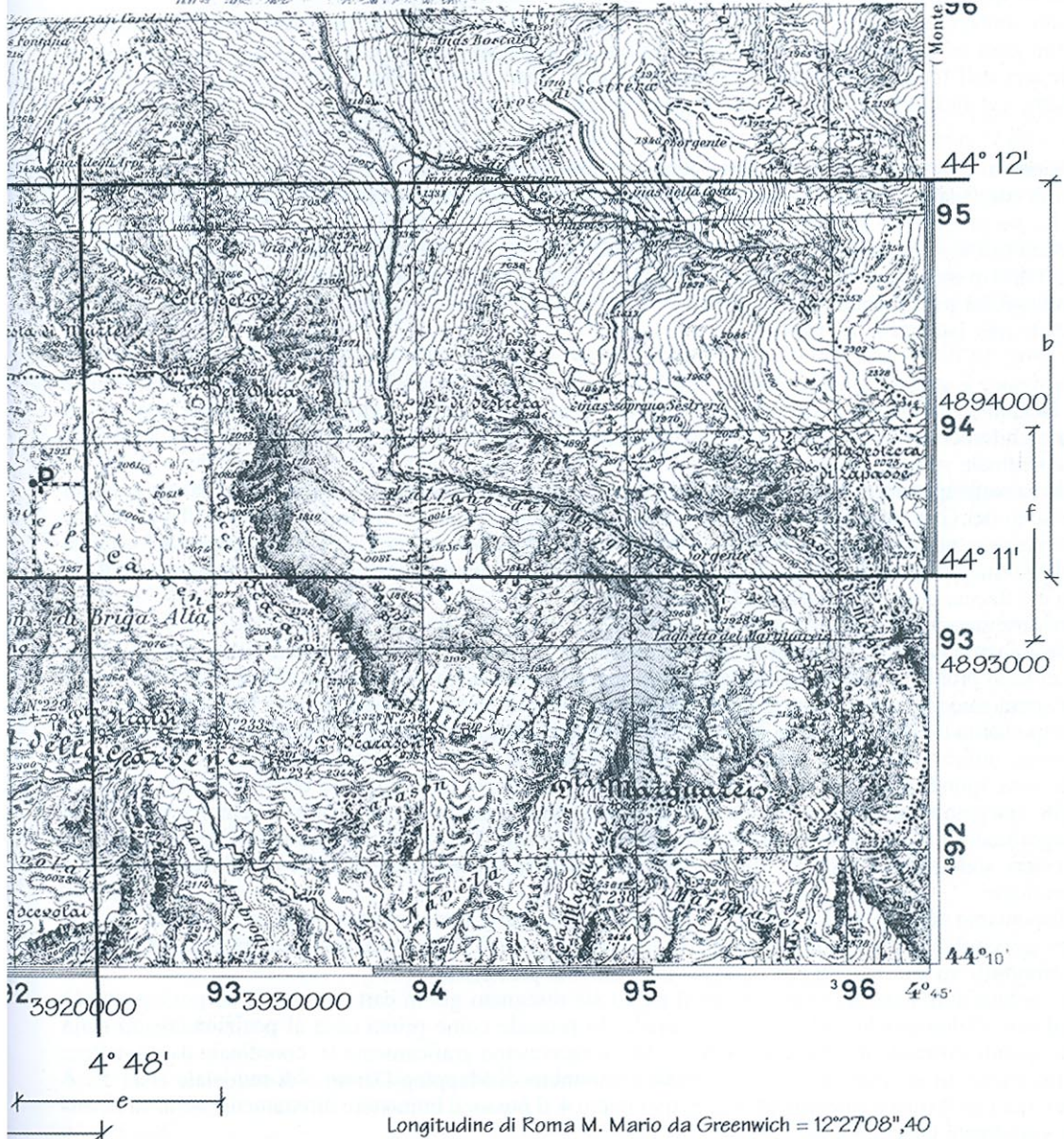
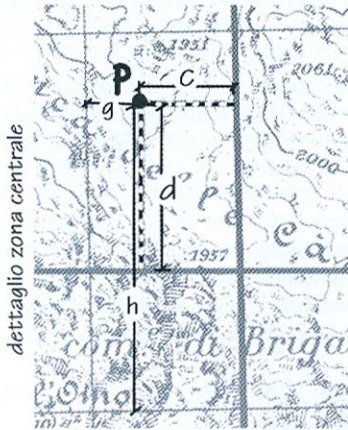
.. Nord : l'equatore.

La presente carta topografica appartiene alla

ZONA 32 T

ed ai quadrati di 100 km di lato

LQ:LP



Una volta inserite tutte queste cifre, ogni qual volta setteremo sul nostro ricevitore nel "Mapping Datum" "user" (utente) e nel sistema di coordinate user (utente), avremo come risposta direttamente le coordinate nel sistema Gauss-Boaga.

Le nostre esperienze hanno verificato errori di trasformazione abbastanza variabili, che possono sfiorare la decina di metri. Conviene preventivamente verificare a tavolino, utilizzando un punto di cui sono note entrambe le coordinate, ad esempio il vertice di una carta, quanto è l'errore per l'area in cui stiamo operando.

4) Alfine un trucco, da prendere con le pinze.

Una volta determinate, con un qualunque sistema, le coordinate, impostiamo come Mapping Datum "Roma 1940", mantenendo sempre il sistema di coordinate UTM. Otterremo direttamente le coordinate nel reticolato chilometrico Gauss-Boaga: nel settore Ovest avremo cura di attribuire alla prima cifra della longitudine il valore 1, anziché 0, mentre nel settore Est, attribuiremo alla prima cifra il valore 2 e dovremo sottrarre 20 km tondi tondi.

In genere la cosa è intuitiva e non pone problemi, perché quando si procede al posizionamento di una grotta lo speleologo conosce molto bene il quadrato di 1 km in cui opera.

Questo stratagemma non è stato ancora verificato adeguatamente per le varie aree italiane, per cui vi saremo grati se ci farete avere vostre osservazioni in proposito.

Nelle aree dell'Italia settentrionale in cui normalmente operiamo (Liguria, Piemonte, Lombardia, Friuli), abbiamo verificato errori che raramente oltrepassano 5-6 m.

7.2.2. Ricercare l'ingresso di una grotta conoscendone le coordinate

Per prima cosa occorre inserire le coordinate del punto da ricercare nel GPS; conviene ovviamente fare questo lavoro in un posto tranquillo, onde evitare imprecisioni. Se disponiamo di coordinate geografiche o UTM conformi al sistema ED 50 (tavolette IGM o CTR), è sufficiente selezionare sul GPS tale Mapping Datum, il tipo di coordinate di cui disponiamo e successivamente immettere nei punti di stazione (waypoint) le coordinate del punto; anche in questo caso, consigliamo di dare un nominativo ed eventualmente anche un simbolo, per facilitarne la ricerca.

Se la posizione è stata originariamente determinata su tavolette IGM utilizzando coordinate chilometriche UTM, facciamo attenzione a inserire anche la zona e le cifre piccole, scritte solo sui primi numeri del reticolato chilometrico, omettendo le due lettere identificate dal quadro di 100 Km. Ricordiamoci inoltre che le coordinate vanno immesse al metro.

Il problema sorge quando la posizione di un punto è stata determinata con sistemi di coordinate non presenti nell'archivio del GPS, o, peggio ancora, non presenti neppure sulla carta in nostro possesso. Tipicamente, questo evento si verifica quando una grotta è stata posizionata con le coordinate geografiche del sistema Roma 1940 (metodo raccomandato dal catasto nazionale SSI), e noi operiamo con una dettagliata CTR, in cui non c'è traccia di questo sistema. Che fare?

Ci sono varie possibilità:

- 1) Se disponiamo di un programma di calcolo che trasforma tra di loro i vari sistemi di coordinate, allora non ci sono problemi: immettiamo quelle in nostro possesso, le trasformiamo in UTM, e siamo a posto. Non scordiamoci che alcuni programmi si portano dietro un errore che può arrivare fino a 5 m.
- 2) Se disponiamo di una tavoletta IGM a scala 1:25.000, tracciamo a mano il reticolato geografico di primo in primo, utilizzando i tratti discontinui bianchi e neri posti al bordo della carta, posizioniamo il punto sulla carta, quindi passiamo a calcolare le rispettive coordinate chilometriche UTM. Il procedimento è meglio spiegato in appendice. Se abbiamo occhio di lince e non ci siamo sbagliati nelle trasformazioni sessagesimali, il nostro errore potrà essere compreso sotto i 15 m! Ma se stiamo sotto i 25 m, possiamo già essere soddisfatti. Possiamo ora finalmente immettere nel ricevitore GPS le coordinate UTM così determinate.
- 3) Se disponiamo della sola CTR preghiamo ardentemente che vi siano riportate, almeno ai vertici, le coordinate geografiche Gauss-Boaga. Altrimenti dovremo cercare di dedurle da una tavoletta a scala 1:25.000, e di riportarle su questa carta, con inevitabile perdita di precisione.

Una variante fortunata del caso 3 è che il punto sia disegnato già in carta, o che se ne posseggano le coordinate chilometriche nel sistema nazionale. Si procede come prima cosa al posizionamento sulla carta, quindi, costruito il solito reticolato UTM, si ricavano graficamente le coordinate da immettere nel ricevitore. In alternativa, se si conoscono i parametri di Mapping Datum e di reticolato (Par. 5.2.1 punto 3) o con il trucco riportato al successivo punto 4 si possono immettere direttamente nello strumento le coordinate Gauss-Boaga.

Non rimane ora che portarci nei pressi della grotta e iniziare a cercarla. Acceso il ricevitore GPS, attiviamo la funzione ricerca (GoTo), quindi posizioniamoci sul nome della grotta che già abbiamo memorizzato. Altri strumenti chiedono prima di evidenziare il nome dell'obiettivo cercato, quindi l'istruzione che vogliamo raggiungerlo. Si attiverà la funzione bussola e ci apparirà la direzione e la distanza a cui si trova la grotta; notiamo anche che la direzione indicata dalla bussola, finché stiamo fermi, è del tutto inaffidabile.

Ma appena ci metteremo in movimento, la bussola ci orienterà continuamente verso la direzione prefissata, mentre sul display appariranno anche la velocità di spostamento e la distanza che ci separa dal punto ricercato. I modelli di ricevitore GPS con bussola magnetica incorporata non soffrono di questo handicap, e anche da fermi la bussola indicherà sempre la direzione corretta. In questa fase, una cartina topografica potrà aiutare a evitare e aggirare gli ostacoli naturali (recinzioni, pareti, burroni...) che potremmo incontrare lungo il percorso; a una ventina di metri dall'obiettivo, il ricevitore GPS ci segnalerà con messaggi o suonerie varie che siamo arrivati in zona, e qui dovremo supplire allo strumento con la nostra testa e la nostra vista, in quanto la precisione nel posizionamento si limita a una decina di metri.

APPENDICE A:

Determinazione sulla carta delle coordinate di un punto

A completamento di questa dispensa, riteniamo utile richiamare le modalità operative di un'operazione fondamentale che chi utilizza il GPS si troverà a ripetere decine e decine di volte: come determinare le coordinate di un punto sulla carta topografica.

Il testo è ripreso, pressoché integralmente, dal quaderno didattico SSI n° 3: "Il rilievo delle grotte", curato da Chiara Silvestro.

Come già si intuiva nei paragrafi precedenti, le coordinate di un punto sulla carta sono di due tipi: geografiche e chilometriche. Le prime si esprimono in gradi, primi e secondi e indicano la latitudine e la longitudine; le seconde si esprimono in metri e indicano la distanza del meridiano e del parallelo del punto di interesse rispetto agli assi di riferimento.

Di seguito vengono fornite alcune indicazioni per leggere le coordinate di un punto P sulle tavolette IGM e sulle CTR.

Tavoletta 1:25.000.

Coordinate geografiche Gauss-Boaga

Al margine della carta, con barre bianche alternate a barre bianconere è indicata la suddivisione in primi, pari a 1/60 di grado.

A questa frazione di grado è quindi associato un segmento di lunghezza misurabile nota, ossia esiste una relazione (proporzione) tra i 60" di grado e i centimetri attraverso la carta (è la lunghezza del segmento bianco o nero).

Il punto ubicato sulla carta ha una certa distanza in centimetri rispetto al meridiano/parallelo a esso più vicino, misurabile con un righello (in sostanza si misura la distanza del punto P dalla retta verticale e orizzontale, tracciate a partire dalla suddivisione in centesimi di grado a bordo carta).

Con questi valori si imposta una proporzione, che fornisce i centesimi di grado da aggiungere (togliere) alle coordinate individuate dal meridiano e parallelo passanti in prossimità del punto P (Figura 8.1).

$$a = 53 \text{ mm} = 60''$$

$$c = 10 \text{ mm}$$

$$60'' : a = P_x : c$$

$$60'' : 53 = P_x : 1$$

$$P_x = 60'' \cdot 1/53 = 11.3''$$

da cui:

$$\lambda_p = 40^\circ 48' 11.3''$$

Analogamente si procede per la determinazione della latitudine:

$$b = 74 \text{ mm} = 60''$$

$$d = 18 \text{ mm}$$

REGIONE PIEMONTE

SERVIZIO CARTOGRAFICO

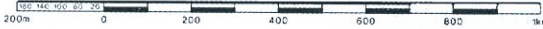
CTR

CARTA TECNICA REGIONALE

SEZIONE N° **244010**

PUNTA MARGUAREIS

Scala 1 : 10 000



L'equidistanza tra le curve di livello è di m 10 (per le curve di livello egualitarie, a tratti, è di m 5)
L'altimetria, espressa in metri, è riferita al livello medio del mare (Mareografo di Genova)

riproduzione non in scala: ridotta all'80% dell'originale

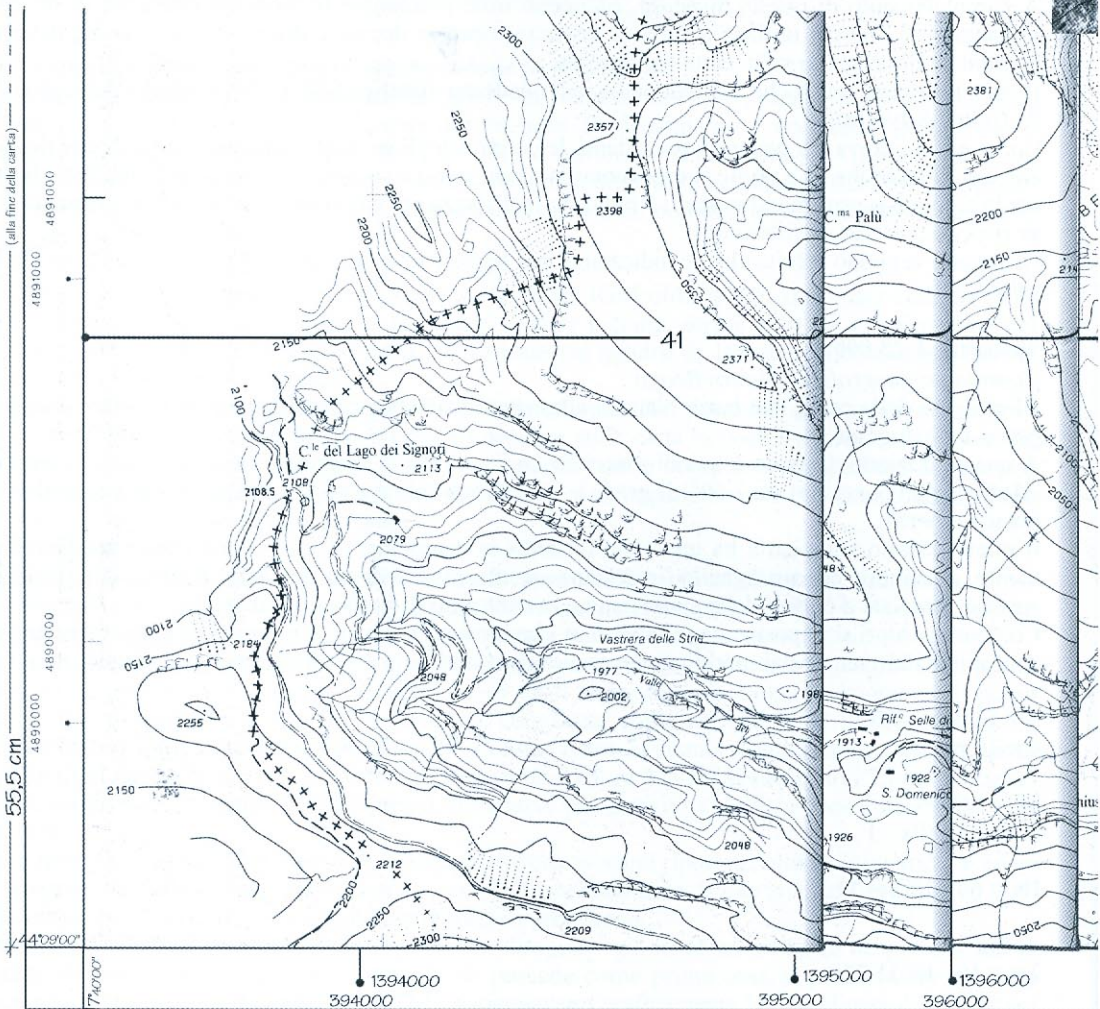


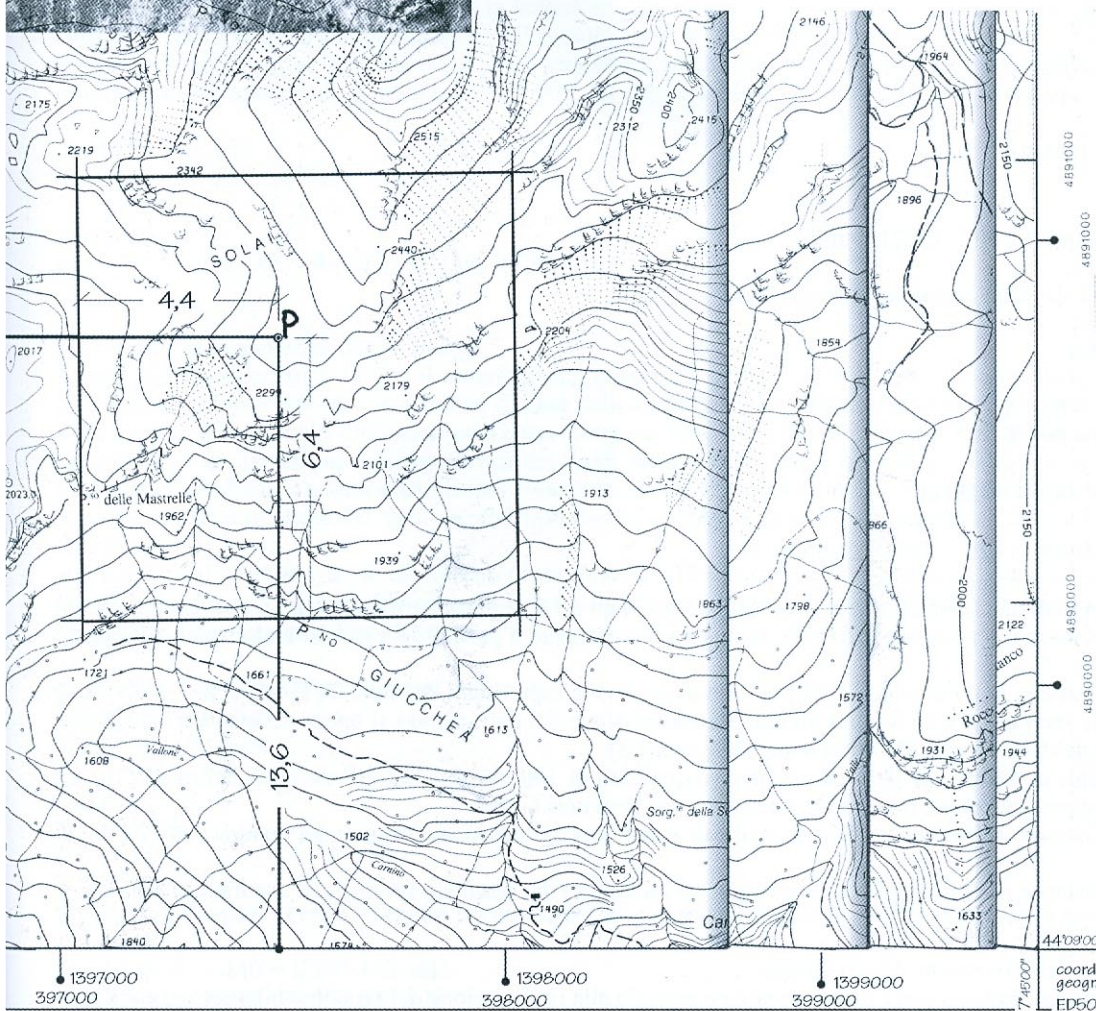
Fig. 8.2: esempio di carta tecnica regionale



COORDINATE DEI VERTICI DELLA SEZIONE						
VERT.	GEOGRAFICHE		GAUSS-BOAGA		U.T.M.	
	LATIT.	LONGIT.	E	N.	E	N.
NO	44° 12' 00"	7° 40' 00"	1393402	4894859	393456	4895041
NE	44° 12' 00"	7° 45' 00"	1400061	4894755	400115	4894936
SO	44° 09' 00"	7° 40' 00"	1393312	4889306	393366	4889487
SE	44° 09' 00"	7° 45' 00"	1399977	4889201	400030	4889383

I vertici sono definiti in coordinate geografiche ED 1950. Il reticolato Gauss-Boaga è riferito al Fuso Ovest. Il reticolato U.T.M. è riferito al Fuso 32 ed indicato al margine col segno convenzionale Δ .
 Trasformazione da coordinate Gauss-Boaga a sistema U.T.M.: ΔE : -999946 ΔN : 182

SITUAZIONE C.T.R. 110.000 E I.G.M. 1:25.000			SITUAZIONE 150.000 I.G.M.		
91 IV SE 226160	227130	91 I SO 227140	225 CUNEO	227 MONDOVI	228 CARO MONTENOTTE
243040	244010	244020	243 COLLE DI TENDA	244 ORMEA	245 ALBENGA
243080	244050	244060	257 DOLCEACQUA	258 SANREMO	259 IMPERIA
91 III NE		91 II NO			



66.4 cm

$$60'' : b = P_y : d$$

$$60'' : 74 = P_y : 18$$

$$P_y = 60'' \cdot 18/74 = 14.6''$$

da cui:

$$\varphi_p = 44^\circ 11' 14.6''$$

Due le cose da tenere presenti: nelle regioni orientali rispetto a Monte Mario, le coordinate incrementano verso Est (destra della carta), mentre in quelle occidentali incrementano in direzione Ovest (sulla carta, da destra verso sinistra). Tracciare in matita il reticolato geografico, trascrivendone in corrispondenza il valore in primi, vi aiuterà a gestire con maggiore sicurezza queste misure.

Coordinate chilometriche UTM

La quadrettatura stampata sulla carta ha un passo costante di 4 cm, cioè di 1000 m sul terreno. Il reticolato è quello UTM. In basso a sinistra si legge una tabellina nella quale sono riportate le coordinate chilometriche dei vertici della carta, da cui si risale alle coordinate dei quattro vertici del quadrato 4 cm x 4 cm in cui ricade il punto da localizzare. Con una proporzione analoga alla precedente, dove però al posto dei centesimi di grado ci sono centimetri e metri, si ricavano le coordinate del punto (Figura 8.1).

$$e = 40 \text{ mm}$$

$$g = 6 \text{ mm}$$

$$1000 : e = P_o : g$$

$$1000 : 4 = P_o : 6$$

$$P_o = 6 \cdot 1000/4 = 150 \text{ m}$$

per cui:

$$\lambda_p = 1392000 + 150 = 1392150 \text{ mE}$$

Per il calcolo della latitudine analogamente:

$$f = 40 \text{ mm}$$

$$h = 33 \text{ mm}$$

$$1000 : f = P_v : h$$

$$1000 : 4 = P_v : 33$$

$$P_v = 33 \cdot 1000/4 = 825 \text{ m}$$

per cui:

$$\varphi_p = 4893000 + 825 = 4893825 \text{ mN}$$

Disponendo di un coordinatometro, usualmente riportato sul margine destro della carta o acquistabile in una buona cartoleria, è possibile effettuare la misura direttamente a partire dal reticolo chilometrico disegnato sulla carta.

Ricordiamo che le coordinate UTM possono avere anche espressioni del tipo: 32T MQ XXxx YYyy, che servono a semplificare, in ambito militare, la trasmissione dei dati quando si opera nella stessa area, ove:

32 T : sigla della zona UTM (frequentemente omessa)

MQ: coppia di lettere che delimita un preciso quadrato di 100 km di lato (dizione obbligatoria per questo tipo di rappresentazione, ma da non immettere nei ricevitori GPS)

XXxx: distanza in chilometri (XX) e decine di metri (xx) dal meridiano origine del quadrato di 100 km di lato

YYyy: distanza in chilometri (YY) e decine di metri (yy) dal parallelo origine del quadrato di 100 km di lato.

Coordinate chilometriche Gauss-Boaga

Si procede innanzitutto con l'aiuto di matita e righello alla ricostruzione del reticolo chilometrico confacente, visualizzato ai bordi della carta con tratti —● o —<. Aiutandosi con i valori tabellati al margine inferiore sinistro, si attribuiscono i valori in chilometri spettanti a ciascuna linea del reticolo.

Si procede poi analogamente al caso delle coordinate chilometriche UTM.

CTR 1: 10.000 E 1: 5.000.

Coordinate geografiche UTM.

Il procedimento è analogo al precedente. Occorre tenere presente che il reticolo stampato sulla carta non coincide con le coordinate lette a bordo carta, perché appartengono a due sistemi di riferimento diversi. Prendendo come base per l'esempio la CTR del Piemonte, le coordinate geografiche UTM sono indicate solo sui quattro vertici della sezione. Si procede come indicato nel seguito. Si misura la lunghezza del lato orizzontale della carta, quello compreso tra i due vertici a cui si riferiscono le misure in gradi. Per la sezione indicata in figura questo segmento è lungo 664 mm. In questo intervallo di millimetri si passa da $7^{\circ} 40' 00''$ a $7^{\circ} 45' 00''$, ossia 5' di grado corrispondono a 664 mm.

Dal punto P si tracciano sempre le due rette: una verticale e l'altra orizzontale. La retta verticale incontra l'asse orizzontale della carta a 410 mm dal vertice in basso a sinistra di longitudine nota $7^{\circ} 40' 00''$. Impostando la seguente proporzione si fa corrispondere a detta misura un valore in primi:

$$5' : 664 = X_p : 410 \\ X_p = 410 \cdot 5' / 664 = 3,087'$$

da cui:

$$\lambda_p = 7^{\circ} 40' + 3,087 = 7^{\circ} 43,087 \text{ (} 7^{\circ} 43' 05,2'' \text{)}$$

In modo del tutto analogo si determina la latitudine. Si misura la lunghezza del lato verticale della carta compreso tra i vertici di latitudine nota, nell'esempio $44^{\circ} 09' 00''$ e $44^{\circ} 12' 00''$. A questi 3' di differenza corrispondono 555 mm. La retta orizzontale tracciata a partire dal punto P incontra l'asse verticale a 136 mm rispetto al parallelo di latitudine $44^{\circ} 09' 00''$. Si imposta allora la seguente proporzione:

$$3' : 555 = Y_p : 136 \\ Y_p = 136 \cdot 3' / 555 = 0,735'$$

da cui:

$$\phi_p = 44^{\circ} 09' + 0,735' = 44^{\circ} 09,735' \text{ (} 44^{\circ} 09' 44,1'' \text{)}$$

Coordinate chilometriche Gauss Boaga

Si reperiscono utilizzando invece il reticolato stampato sulla carta. Facendo sempre riferimento alla CTR piemontese, si osservano disseminate su di essa delle crocette. Esse rappresentano i punti di intersezione della maglia del reticolo chilometrico Gauss-Boaga e sono equidistanti 10 cm. Sul bordo carta sono individuabili dei trattini in corrispondenza dei quali sono indicate delle cifre dell'ordine dei milioni. Si tratta delle coordinate chilometriche Gauss-Boaga del reticolo appena descritto. Poco distante dai precedenti, sono visibili altri segni del tipo \bullet , che indicano la traccia del reticolo chilometrico UTM e le relative coordinate.

Il punto P dell'esempio ricade all'interno di un quadrato 10 cm x 10 cm i cui vertici hanno le coordinate indicate in Figura 8.2. Le solite rette da P individuano sui lati del quadrato del reticolo due segmenti di lunghezza: $P_o = 44$ mm e $P_v = 64$ mm.

Si possono impostare le proporzioni seguenti:

$$1000 : 10 = P_o : 44$$

$$1000 : 10 = P_v : 64$$

da cui

$$P_o = 440 \text{ m}$$

$$P_v = 640 \text{ m}$$

Questi sono i valori di cui aumentare le coordinate dei vertici del quadrato, per determinare la posizione di P. Sarà quindi:

$$P = 1397000 + 440 = 1.397.440 \text{ mE}$$

$$P = 4890000 + 640 = 4.890.640 \text{ mN}$$

Coordinate chilometriche VTM

Ovviamente le coordinate chilometriche ottenute così come descritto sopra sono quelle del sistema Roma

40; per passare alle UTM basta utilizzare le costanti di conversione indicate a margine carta. In alternativa, molte carte riportano al bordo i riferimenti (\leftarrow o \bullet) del reticolato chilometrico UTM, attraverso cui risulta possibile ricostruire e quindi ricavare con una procedura analoga le coordinate nel sistema UTM. In entrambi i casi, l'uso di un coordinatometro faciliterà le misure.

APPENDICE B: GALILEO

Proprio al termine dello scorso millennio, la comunità europea ha formalmente dato il via alla realizzazione di GALILEO, un nuovo sistema di posizionamento globale integrativo del GPS/NAVSTAR e del GLONASS. La realizzazione di GALILEO sarà suddivisa in due fasi principali.

La prima, denominata EGNOS e implementata dal 2001 al 2005, prevede la messa in orbita di alcuni satelliti geostazionari in grado di monitorare le prestazioni dei sistemi GPS/GLONASS e di fornire indicazioni sulla qualità dei posizionamenti eseguiti dall'utente, segnalando eventuali malfunzionamenti.

La seconda, che prenderà avvio durante gli anni 2006 e 2007 con lo spiegamento completo della nuova costellazione di satelliti, sarà definitivamente operativa a partire dal 2008.

Ma che vantaggi ci darà usare GALILEO? Innanzi tutto la comunità europea ha preso accordi con gli enti che gestiscono i sistemi di posizionamento già esistenti, per fare in modo che l'uso del nuovo sistema non sia in competizione con i precedenti, ma una collaborazione capace di apportare miglioramenti.

Così facendo, a prescindere dalla qualità del segnale, sarà possibile avere a disposizione dei futuri ricevitori una copertura di satelliti molto maggiore (GALILEO/GPS/GLONASS): ad esempio, saremo in grado di posizionare correttamente le nostre auto anche fra le vie più strette delle città, senza rischio di perdere continuamente il segnale.

In realtà le prestazioni del nuovo sistema saranno decisamente elevate, tanto da indurre il gruppo di studio che lo ha progettato a suddividere in tre categorie il tipo di servizio disponibile agli utenti.

Il servizio di interesse generale sarà gratuito e di libero accesso, esattamente come il GPS americano e consentirà di ottenere precisioni migliori di quelle attuali; il servizio commerciale avrà prestazioni ancora migliori e sarà fornito a pagamento ad utenti professionali (in alcuni particolari settori quali la geodesia, il sincronismo delle reti, i pedaggi stradali, l'aviazione civile...); il servizio di interesse pubblico sarà accessibile solo a enti e organismi di coordinamento e di utilità generale, ed avrà una precisione planare di qualche decina di centimetri.

Fase di sviluppo e di convalida (2001-2005)

- Definizione dettagliata dei segmenti (spaziale, terrestre, utenza);
- Sviluppo di satelliti, componenti terrestri;
- Convalida "in orbita" del sistema.

Fase di spiegamento (2006-2007)

- Fabbricazione, lancio di satelliti;
- Realizzazione del segmento completo a terra.

Fase operativa (dal 2008)

- Sostituzione dei satelliti
- Funzionamento dei Centri
- Manutenzione.

Tabella A1: riassunto dei tempi di realizzazione previsti per il sistema.

Lo stesso sistema prevede una certa interattività con l'utente, ed una molteplicità di servizi aggiunti, prevedendo tra l'altro l'integrazione con le reti GSM e UTMS.

Tanto per dare una idea del costo che avrà la realizzazione di questo sistema, basta pensare che la spesa prevista per la fase di sviluppo e di convalida ammonta a 1,1 miliardi di € per l'infrastruttura e a 150 milioni di € per lo spiegamento degli elementi locali e lo sviluppo delle applicazioni e dei ricevitori, mentre per la

fase di spiegamento (2006-2007), i costi da sostenere sono stimati in 2,1 miliardi di € di cui 1,5 miliardi di € a carico del settore privato e 0,6 miliardi di € a carico del settore pubblico.

Una cosa è sicura: dal 2008 sentiremo parlare spesso di GALILEO e soprattutto non lo utilizzeremo solo per posizionare gli imbocchi delle grotte, vista la molteplicità di applicazioni in cui sarà protagonista. Però alcune delle nuove caratteristiche con cui il sistema è stato progettato sembrano presagire importanti novità anche per quello che ci riguarda. Non resta che avere un po' di pazienza...

GLOSSARIO DEI TERMINI TECNICI

- CTR* Cartografia Tecnica Regionale. Serie di cartografie a scala 1:10.000 e 1:5.000 edita dalle varie amministrazioni regionali
- Coordinate* Coppia di numeri che permette di individuare inequivocabilmente un qualsiasi punto della superficie terrestre. Usualmente rappresentano la distanza da un meridiano e da un parallelo di riferimento: possono venire espresse in gradi (coordinate geografiche) o in metri (coordinate chilometriche).
- DoD* È l'acronimo di Department of Defence, ovvero il Dipartimento della Difesa statunitense.
- ED 50* European Datum 1950. Sistema che unifica varie reti geodetiche nazionali, adottato nel 1950 da varie nazioni europee, tra cui l'Italia. I riferimenti per la determinazione delle coordinate, sono il meridiano di Greenwich e l'Equatore.
- Effemeridi* Termine con cui si indicano le traiettorie orbitali descritte dai satelliti.
- EGNOS* È il progetto di potenziamento del GPS tradizionale organizzato dall'Unione Europea, nell'attesa dell'avvio del nuovo sistema di GPS europeo, GALILEO.
- Elemento* Carta Tecnica Regionale a scala 1:5.000.
- Ellissoide* Modello cartografico di rappresentazione della superficie terrestre.
- FOM* È l'acronimo di figura di merito, un valore che indica il raggio di un ipotetico cerchio in cui cade il 66 % dei punti determinati durante una acquisizione.
- GALILEO* È il progetto di GPS europeo che prenderà vita in questi anni e che sarà definitivamente operativo a partire dal 2008.
- Roma 1940* Rappresentazione cui si rifà la cartografia ufficiale italiana, con origine Monte Mario (Roma). Il meridiano passante per Monte Mario e l'Equatore sono i riferimenti per la determinazione delle coordinate in questo sistema.
- GDoP* È l'acronimo di Geometric Dilution of Precision, cioè un indice con cui viene misurata l'attendibilità di un posizionamento in base alla posizione geometrica dei satelliti utilizzati.
- Geoide* Complesso modello di rappresentazione della superficie terrestre.
- GLONASS* Sistema di posizionamento satellitare concepito dal Governo russo, simile al GPS, fornisce anch'esso, informazioni di posizione e di tempo.
- GPS* Acronimo di Global Positioning System, ovvero un sistema di posizionamento globale elettronico, costituito da una costellazione di 24 satelliti orbitanti intorno al nostro pianeta e da alcune stazioni di controllo a terra.
- GSNN* Sistema europeo che utilizza contemporaneamente il GPS e il GLONASS per ottenere un posizionamento particolarmente preciso.
- HDOP* È l'acronimo di Horizontal Dilution of Precision, cioè un indice con cui viene misurata l'attendibilità di un posizionamento in base alla posizione geometrica dei satelliti utilizzati, lungo la proiezione planare.
- IGM* Istituto Geografico Militare con sede a Firenze. Edita la cartografia ufficiale militare italiana, ma molte delle sue carte sono disponibili anche per uso civile. Ha creato e gestisce la rete geodetica italiana.

<i>Mapping Datum</i>	Rappresentazioni del geoide terrestre; sono utilizzati per rappresentare in forma digitalizzata il nostro pianeta.
<i>Multipath</i>	Termine che indica un errore in ricezione, molto insidioso da individuare, dovuto al riflettersi delle onde elettromagnetiche emesse dai satelliti su oggetti ubicati nei pressi di chi riceve.
<i>NAVSTAR</i>	Sigla che rappresenta il sistema di posizionamento progenitore del GPS.
<i>NIMA</i>	National Imagery Mapping Agency; ente americano per le scienze geospaziali, che tra l'altro rende disponibili, tramite il suo sito internet, informazioni e dati sul sistema GPS, sul geoide WGS 84 e le correlazioni tra il geoide WGS 84 e altri sistemi cartografici.
<i>Palmare</i>	È il sinonimo di ricevitore portatile, ovvero il piccolo strumento elettronico, grosso modo della grandezza e della forma di un telefono cellulare, utilizzato per ricavare la posizione ad opera di un qualsiasi utente.
<i>Pseudo-Codice</i>	Particolare codice con cui viene modulata l'onda elettromagnetica inviata dai satelliti e ricalcolata a terra dai ricevitori, utile nel calcolo della posizione per mezzo di congetture geometriche e fisiche.
<i>S/A</i>	Sigla che indica la Selective Availability, ovvero la disponibilità selettiva, un indice di bontà del livello di corruzione artificiale del segnale di GPS imposto dal Governo americano per scopi militari. Attualmente è posto al livello minimo (disabilitato).
<i>SV</i>	Acronimo di Space Vehicle, ovvero veicolo spaziale, si riferisce nel nostro caso ai satelliti emettitori di segnali GPS.
<i>Sezione</i>	Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000. Esistono anche (rare) sezioni editate dall'IGM.
<i>Tavoletta</i>	Carta topografica a scala 1:25.000 edita dall'IGM.
<i>UTM</i>	Rappresentazione che si rifà alla proiezione Universale Trasversale di Mercatore. Utilizza un sistema di coordinate chilometriche impiegato in campo militare, adottato anche dal sistema ED 50, molto semplice da usare.
<i>VDoP</i>	È l'acronimo di Vertical Dilution of Precision, cioè un indice con cui viene misurata l'attendibilità di un posizionamento in base alla posizione geometrica dei satelliti utilizzati, lungo l'asse verticale.
<i>WGS 84</i>	World Geografic System. Geoide utilizzato dai ricevitori GPS che fanno capo alla rete per determinare la posizione di un punto sulla superficie terrestre.

BIBLIOGRAFIA E LINKS UTILI

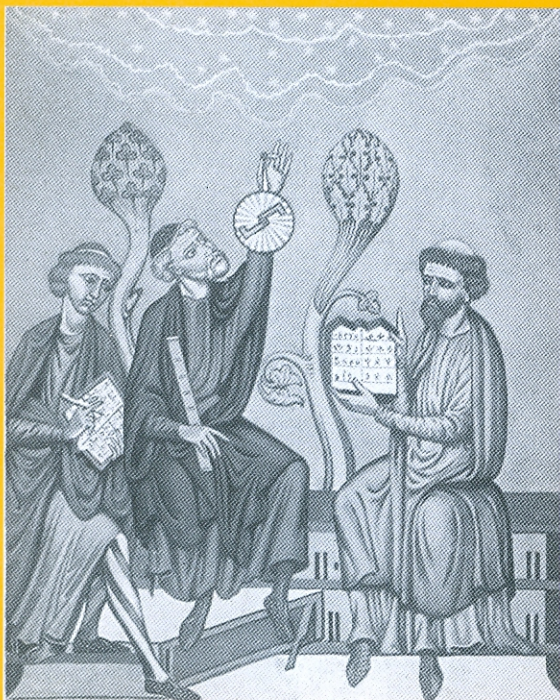
- TRIMBLE NAVIGATION - *GPS. A guide to the next utility*, USA 1992.
- F. BAGLIANI, M.COMAR, F. GHERBAZ, G.NUSSDORFER - *Manuale di rilievo ipogeo*, Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, 1992
- P.H. DANA – *Global Positioning System, Overview*, 1994.
- F. SICCARDI, A. VERRINI - *Utilizzo del GPS nel posizionamento speleologico, un approccio generale ed alcune considerazioni preliminari*, Stalattiti e Stalagmiti n.19, bollettino del Gruppo Speleologico Savonese, 1994.
- TRIMBLE NAVIGATION - *GPS. Surveyor's field guide*, USA 1995.
- F. SICCARDI, A. VERRINI - *Utilizzo del GPS nel posizionamento speleologico, novità e prospettive*, Stalattiti e Stalagmiti n.21, bollettino del Gruppo Speleologico Savonese, 1996.
- G. BADINO - *Satellitare: caratteristiche ed uso*, Progressione n. 33, 1997.
- C. SILVESTRO - *Il Rilievo delle grotte, Quaderni didattici SSI*, AGSP-SSI, 1999.
- <http://www.gpsworld.com/>
Informazioni generali sul sistema GPS, ditte costruttrici, ricevitori, futuri sviluppi del GPS, vari links sul GPS.
- <http://www.navcen.uscg.mil/>
Il sito WEB ufficiale dell'USCG Navigation Center. È il punto di partenza per raggiungere molte informazioni tecniche sul GPS e sui satelliti.
Da visitare assolutamente.
- <http://www.nima.mil/GandG/GandG.html>
Sito del National Imagery Mapping Agency (NIMA), con dati sul sistema GPS, sul geoide WGS 84 e le correlazioni tra il geoide WGS 84 e altri ellissoidi.
- <http://www.esrin.esa.it>
Sito dell'European Space Agency
- <http://europa.eu.int/index-en.htm>
Sito dell'Unione Europea
- <http://www.galileo-pgm.org/>
Sito del centro di programmazione di Galileo
- <http://www.rssi.ru/SFCSIC/english.html>
Sito del centro di programmazione di GLONASS
- http://www.civil.ist.utl.pt/~snig/gps_data/docs/gps.html
La stazione è installata a Lisbona, sono mantenuti online i files degli ultimi 2 mesi (24 files al giorno per sette giorni alla settimana). La selezione dei files, fatta per giorno e mese, crea automaticamente una pagina con i 24 files (zippati) del giorno richiesto.
- <http://www.nmaa.org/navtech.com/index.html>
Navtech, firma tra le pioniere del GPS, fondata nel 1984 come Navigation Technology Seminars Inc. da Keith and Carolyn McDonald, con lo scopo primario della formazione e dell'impiego operativo del GPS. È probabilmente uno dei siti fondamentali per l'approccio al GPS, il catalogo 1946 arrivato fresco di stampa, propone nella prima metà, circa 26 pagine con grafica accurata e caratteristiche tecniche puntuali, di strumentazione GPS, software e sistemi, oltre ad una accurata proposta di circa 70 titoli librari. L'altra metà del catalogo propone invece gli ormai famosi seminari Navtech, con circa 13 corsi ripetuti per tre volte nel corso dell'anno. La lettura del catalogo dà l'idea di quanto ormai sia esteso il settore delle applicazioni GPS.
- <http://www.host.cc.utexas.edu/ftp/pub/grg/gcraft/notes/gps/gps.html>
The Global Positioning System (GPS) è il sito con informazioni generali e correlate al GPS, parte del Geographer's Craft, Dipartimento di Geografia dell'Università di Austin - Texas. Estremamente interessante per tutte le informazioni oltre quelle sul GPS.
- <http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft/notes/gps/gps.html>
Buoni materiali per l'autoistruzione sul sistema GPS.



È ormai passato più di un quarto di secolo da quando, con il Manuale di Speleologia, edito dalla Longanesi, la speleologia italiana tentò di darsi un testo di riferimento complessivo sulla speleologia, intesa nei suoi vari aspetti di "discorso sul mondo sotterraneo". Da allora le numerose scuole di speleologia in Italia hanno avvicinato al mondo delle grotte molte decine di migliaia di persone ma, stranamente, senza riprendere il progetto di dare un ausilio didattico completo a chi realizzava e seguiva i corsi.

In passato la Società Speleologica Italiana ha provveduto a coprire il settore più critico, quello delle tecniche di progressione sicura in grotta, con una serie di testi ma gran parte degli altri argomenti rimanevano totalmente scoperti.

Un paio d'anni fa il Direttivo ha deciso di rimettere mano al progetto, articolandolo in una serie completa di Quaderni Didattici. Lo scopo, naturalmente, era quello di fornire manualistica ai corsi tenuti dalla Commissione Nazionale Scuole di Speleologia della SSI, ma strada facendo ci siamo accorti che, più ambiziosamente, potevamo cercare di dare un'informazione dettagliata sul mondo delle grotte anche ad un pubblico ben più vasto, trattandone tutti gli aspetti: Geomorfologia e Speleogenesi, Rilievo, Speleologia in Cavità Artificiali, Impatto dell'Uomo sull'Ambiente, Tecniche di Base, Storia della Speleologia, Geologia per Speleologi, Clima, Reazioni a Emergenze, Primo Soccorso, Idrogeologia Carsica, Immagini, Documentazione, Organizzazione della Speleologia, Grandi Grotte del Mondo, Vita nelle Grotte, Depositi chimici, Riempimenti e altri in progetto. Siamo sicuri che questa iniziativa sarà un passo importantissimo per una migliore conoscenza del mondo sotterraneo.



*Osservazione del cielo
con strumenti primitivi
nel sec. XIII (da Lacroix)*